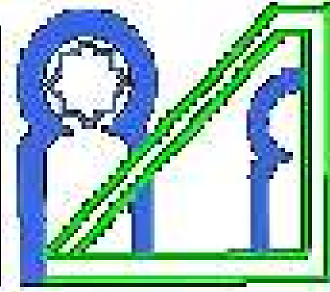


Les lois fondamentales de l'optique géométrique



SVT session d'automne 2013

Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

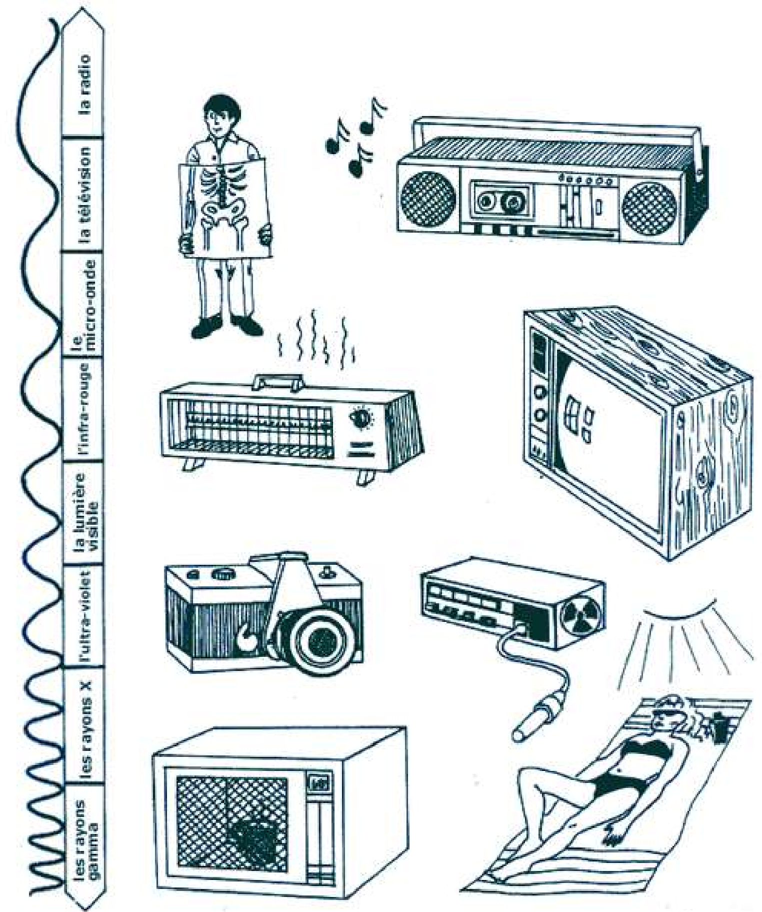
L'OPTIQUE ?

L'optique est l'étude de la lumière.

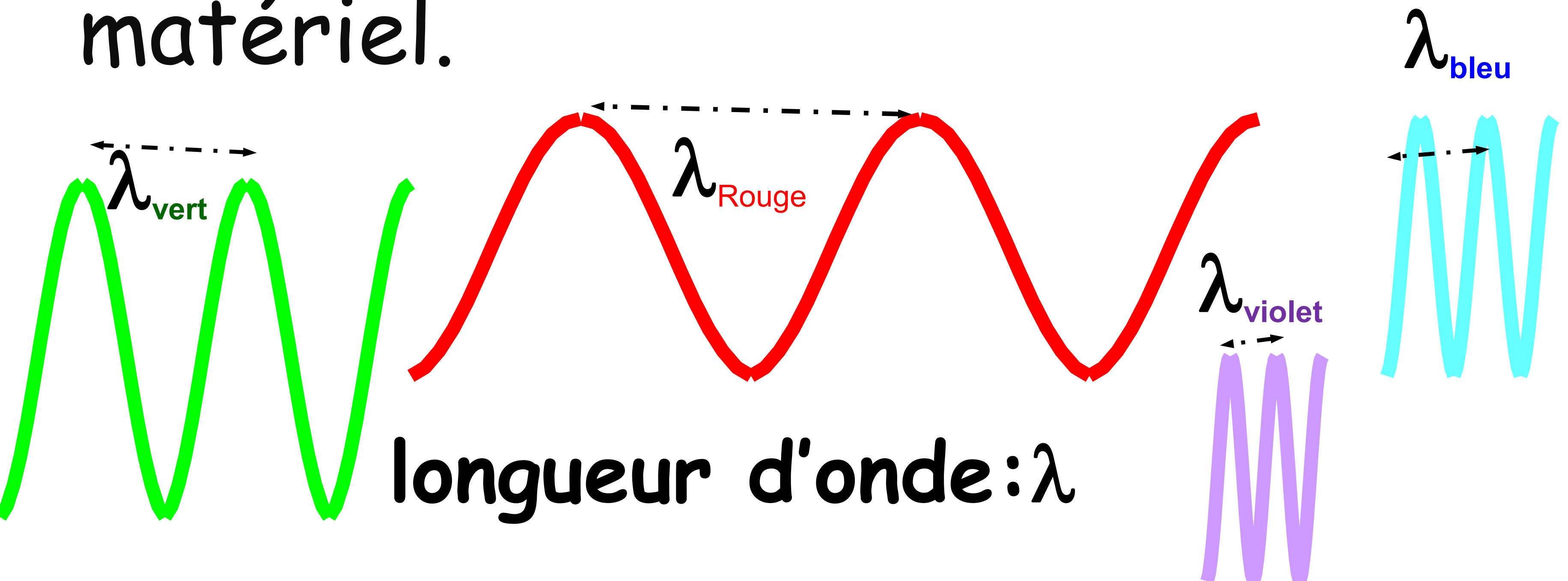
La lumière est le messager de notre Univers.

La lumière est émise par la matière et se manifeste par son action sur **l'œil** ou sur **d'autres récepteurs** parmi lesquels nous citerons : **Plaque photographique**, …

Ces récepteurs permettent de mettre en évidence des domaines de lumière que **l'œil** ne perçoit pas, tels ceux de l'**Ultraviolet** et de l'**Infrarouge**.



En optique géométrique, la lumière est considérée comme une **onde électromagnétique**(**vibration ondulatoire**) qui se propage dans toutes les directions de l'espace, même en absence du milieu matériel.



Une onde électromagnétique est une vibration ondulatoire caractérisée par **sa fréquence** ν (nu) ou par sa **période temporelle** T=1/ν.

Ces 2 paramètres T et ν sont **indépendants** du **milieu traversé** par l'onde en question.

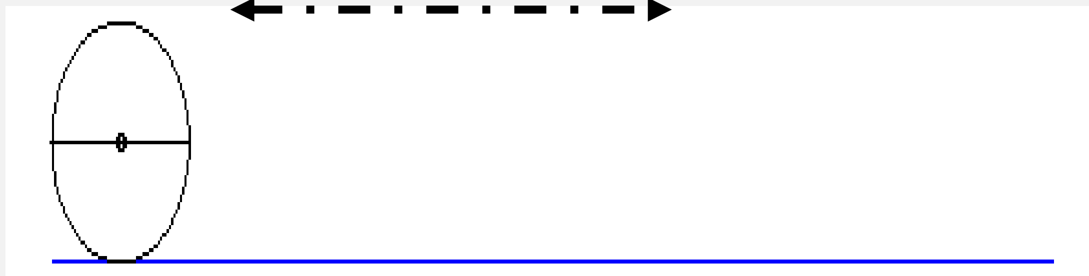
La **longueur d'onde** λ est définie par :

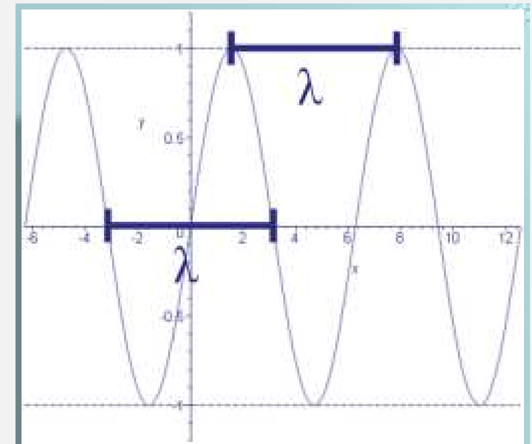
$$\lambda = v.T = v/\nu$$

où **v** est la vitesse de propagation de l'onde.

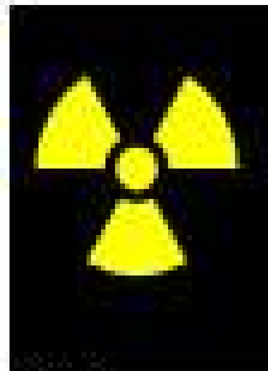
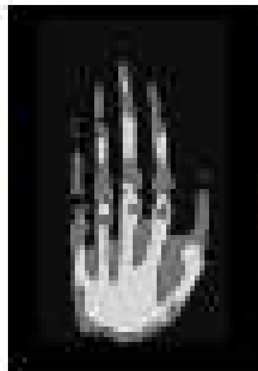
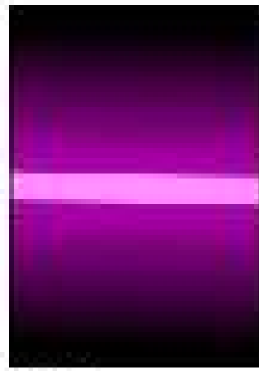
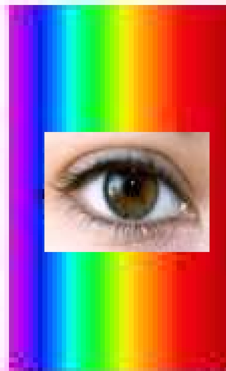
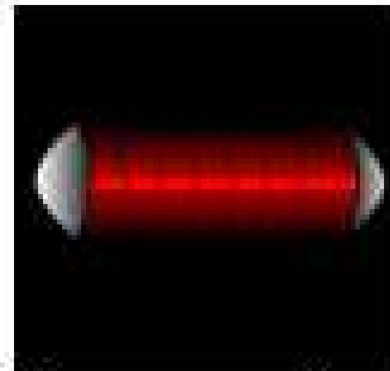
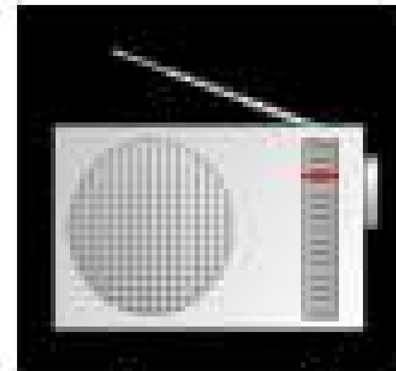
Ces 2 grandeurs **v** et λ dépendent du milieu traversé, à l'inverse de la période **T** et la fréquence ν.

λ





1Ä=10^{-10}m   1nm=10^{-9}m   1μm=10^{-6}m

0.01nm   1nm   100nm   1mm   1cm   1m   1km

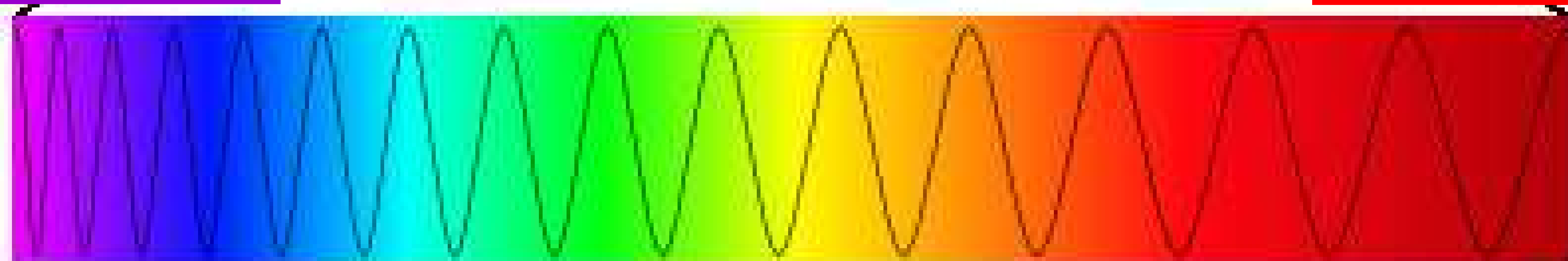
λ

Le spectre électromagnétique

Visible à l'œil nu

La longueur d'onde λ_0 de la lumière visible à l'œil, par rapport au vide

400 nm   800 nm



La **vitesse v** de propagation de la lumière dépend du **milieu traversé** :

Air ou vide	eau	verre
300 000 km/s	225 000 km/s	200 000 km/s

La lumière se propage dans les **milieux transparents différents** à des **vitesses différentes**.

On définit **l'indice de réfraction n** en un point M quelconque d'un milieu donné par la quantité :

$n = c/v$

vitesse lumière dans le vide
----
vitesse lumière dans le milieu

air	eau	éthanol	verres	benzène	diamant
1	1,3	1,36	1,5<n<1,8	1,6	2,4

Attention : c'est très important !!!!

> Comme **v** < c alors $1 < n$;
>
> l'indice du vide : $n_0 = c/c = 1$

- **l'indice de réfraction n** traduit la tendance de la matière à **ralentir** la propagation des ondes électromagnétiques.

Remarque : Une radiation de **fréquence** ν et de **longueur d'onde** λ_0 dans le vide (n_0=1), dans un autre **milieu d'indice de réfraction** **n>1**, sa **longueur d'onde** λ s'exprime comme suit :

$$\lambda = v.T = \frac{v}{\underbrace{c}_{\frac{1}{n}}}.\underbrace{c.T}_{\lambda_0} = \frac{\lambda_0}{n}$$

En changeant le milieu de propagation, la lumière **change** sa longueur d'onde λ, c'est-à-dire sa vitesse **v** et non pas sa fréquence ν ni sa période temporelle T . **La lumière conserve alors sa teinte** (couleur)

$$\lambda_0/\lambda = n$$

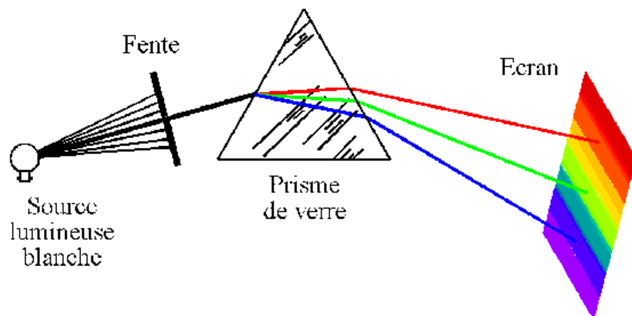
Voir TD Exercice n° 1

Remarque :

La **longueur d'onde** λ est inversement proportionnelle à **l'indice de réfraction n** du **milieu** où la radiation se propage.

Milieu dispersif

Modèle de Cauchy





$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

A et B sont des constantes

Milieu homogène : tout milieu dans lequel la lumière se propage avec une **vitesse v constante**. Donc **son indice de réfraction n** est aussi constant ($n=c/v$).

Milieu inhomogène (**non homogène**) : Tout milieu dans lequel **la lumière** se propage avec **une vitesse v variable**.

Donc son **indice de réfraction n** est aussi **variable**, dans ce milieu ($n=c/v$).

La lumière blanche est décomposée en plusieurs radiations visibles, définies par **des couleurs**, c'est-à-dire par la **fréquence** ν ou **sa longueur d'onde** λ. Chacune de ces radiations est dite simple ou **monochromatique**, car il est impossible de la décomposer en d'autres radiations.



La longueur d'onde λ_0 de la lumière visible à l'œil, par rapport au vide $n_0=1$

Source de lumière : Tout corps qui émet de la lumière est une source lumineuse. Cette source peut être :

* **Source principale** (bougie, lampe, étoile,…)

* **Source secondaire.** L'objet diffuse la lumière qu'il reçoit (La Lune, Planètes, vous, le mur, la table,…)

- **Sources étendues** :
  Soleil, écran de cinéma, Lampe,…
- **Sources de faibles dimensions** :
  Planètes,…
- **Sources ponctuelles** :
  étoile,…



- On appelle **corps transparent** tout corps qui laisse passer la lumière.

Exemple : l'eau, le verre, le cellophane,…

- On appelle **corps opaque**, tout corps qui arrête totalement la lumière.

Exemple : le bois, l'acier, le marbre…



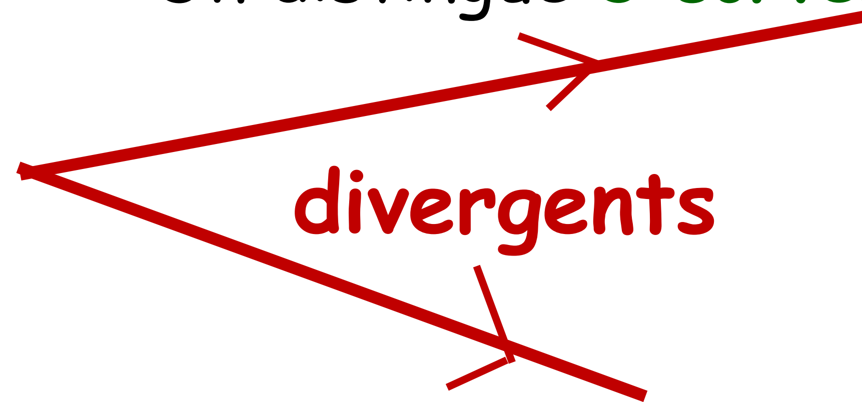
Cellophane





Un rayon lumineux est représenté par une droite AB sur laquelle on place une flèche indiquant le **sens de propagation de la lumière**. A ⟶ B

- En pratique un rayon lumineux isolé n'existe pas.
- Les rayons sont toujours groupés en faisceaux. On distingue 3 sortes de faisceaux.







Pinceau : tout faisceau étroit est appelé un pinceau lumineux.

- **L'optique géométrique** schématise alors la lumière par un **rayon lumineux**.

- La lumière se propage en **ligne droite** dans un milieu homogène d'indice n.

- **Le principe de retour inverse** de la lumière :

$$A \rightarrow B \quad \text{alors} \quad B \rightarrow A$$

L'indépendance des rayons lumineux permet de décomposer un faisceau en rayons, et d'étudier séparément **la marche** de chaque rayon, ce qui constitue le but de **l'optique géométrique**.

Le **comportement** de ce rayon lumineux à la surface de séparation ou d'un miroir est décrit par **les lois de Snell-Descartes**.

René Descartes 1596-1650





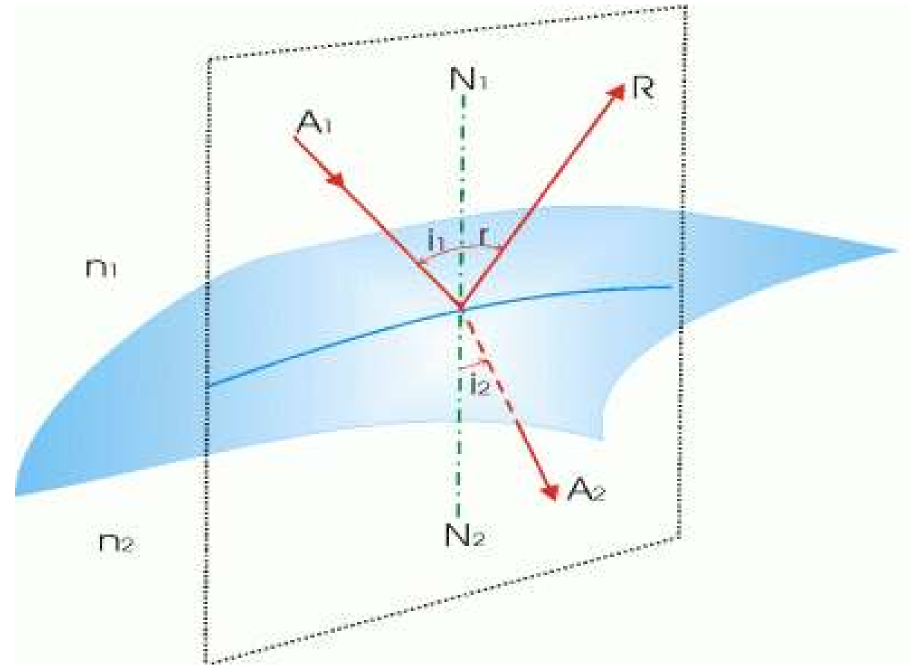
Les fondements de l'optique géométrique





Willebrord Snell1580-1626

Les lois de Snell-Descartes fixent la <u>direction</u> des faisceaux réfléchi et réfracté en fonction de celle du faisceau incident.



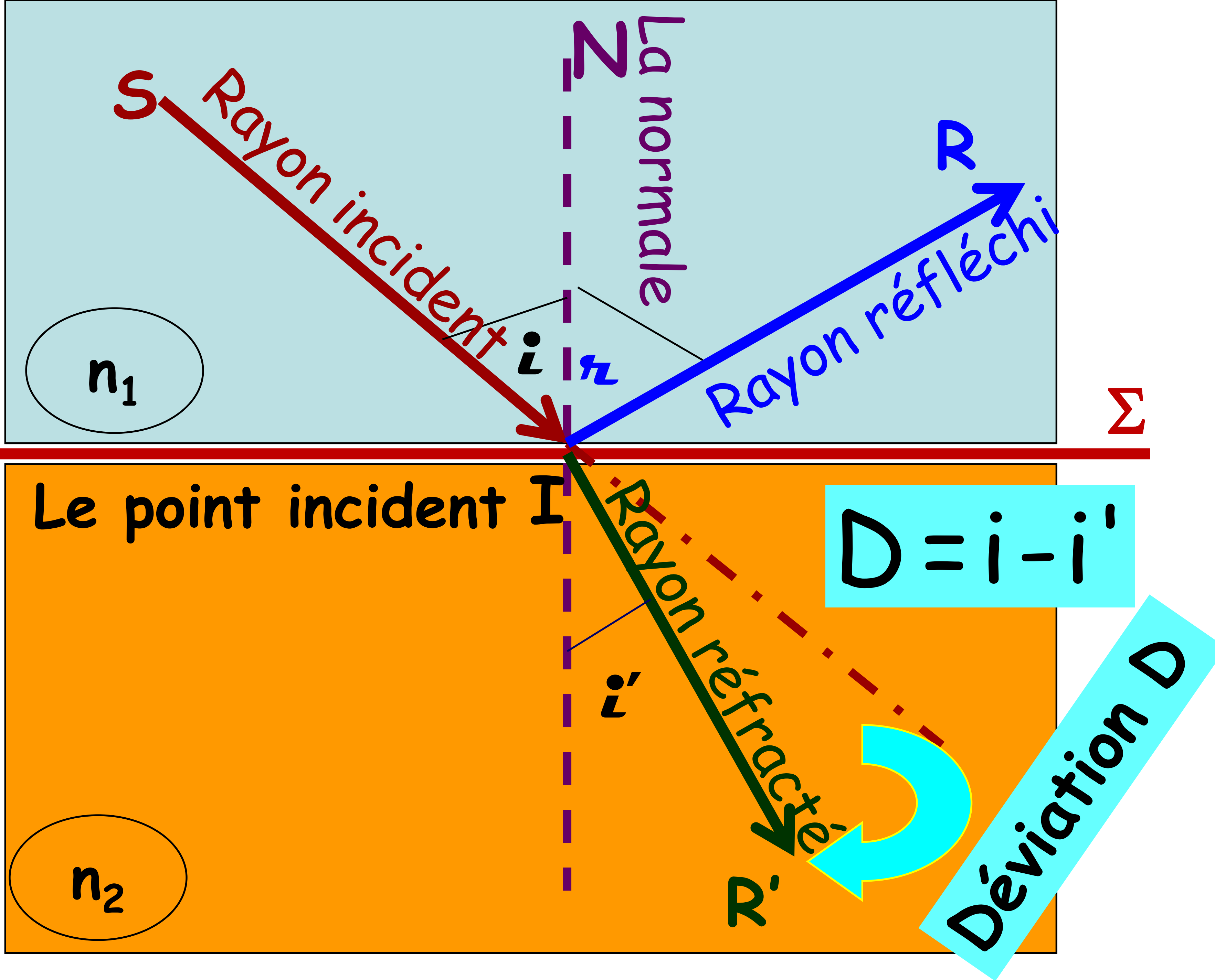


Les lois de Snell-Descartes :

1. Les lois de la réflexion

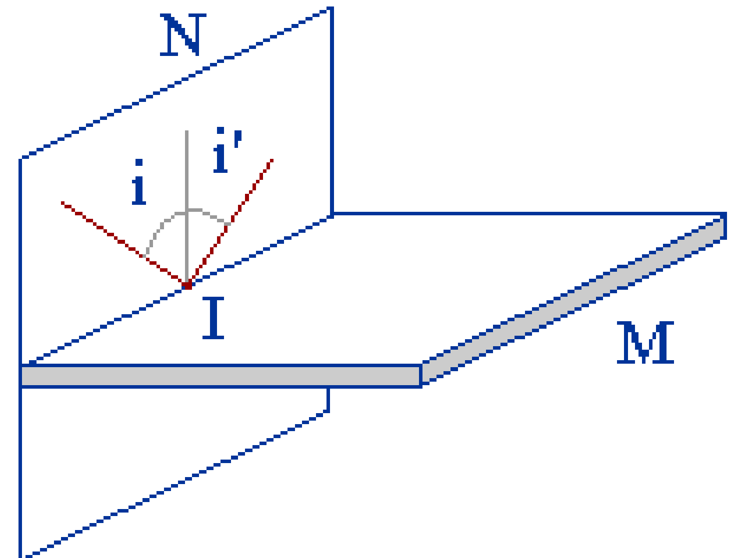
2. Les lois de la réfraction




Surface de séparation
S
Rayon incident
N
La normale
R
Rayon réfléchi
i
r
n1
Σ
Le point incident I
Rayon réfracté
D = i - i'
i'
Déviation D
n2
R'

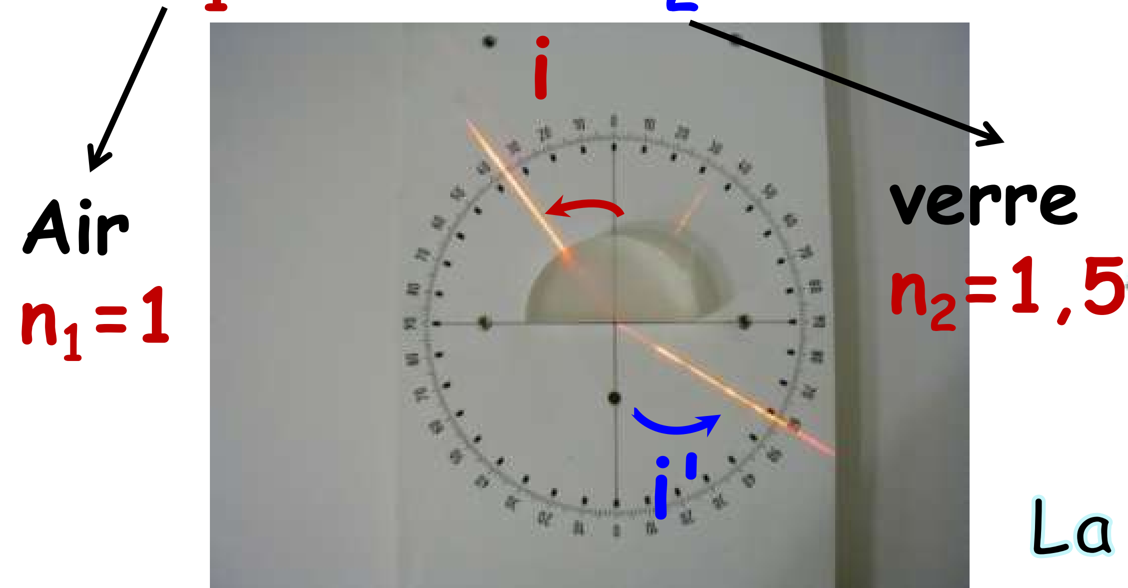
1. **Le rayon réfléchi** et le rayon incident sont dans le **plan d'incidence** formé par la normale et le rayon incident (IN,SI)
2. **L'angle de réflexion** est **égal** à **l'angle d'incidence**, ce qui se traduit par : **i = r**

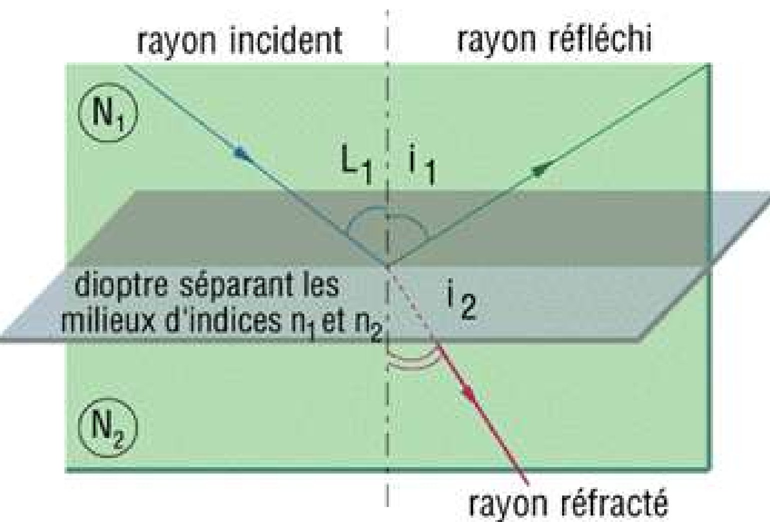




1. Les rayons **réfracté** et **incident** sont dans le même plan d'incidence défini par les deux vecteurs (IN,SI)
2. **L'angle de réfraction i'** et **l'angle d'incidence i** sont liés par la relation :

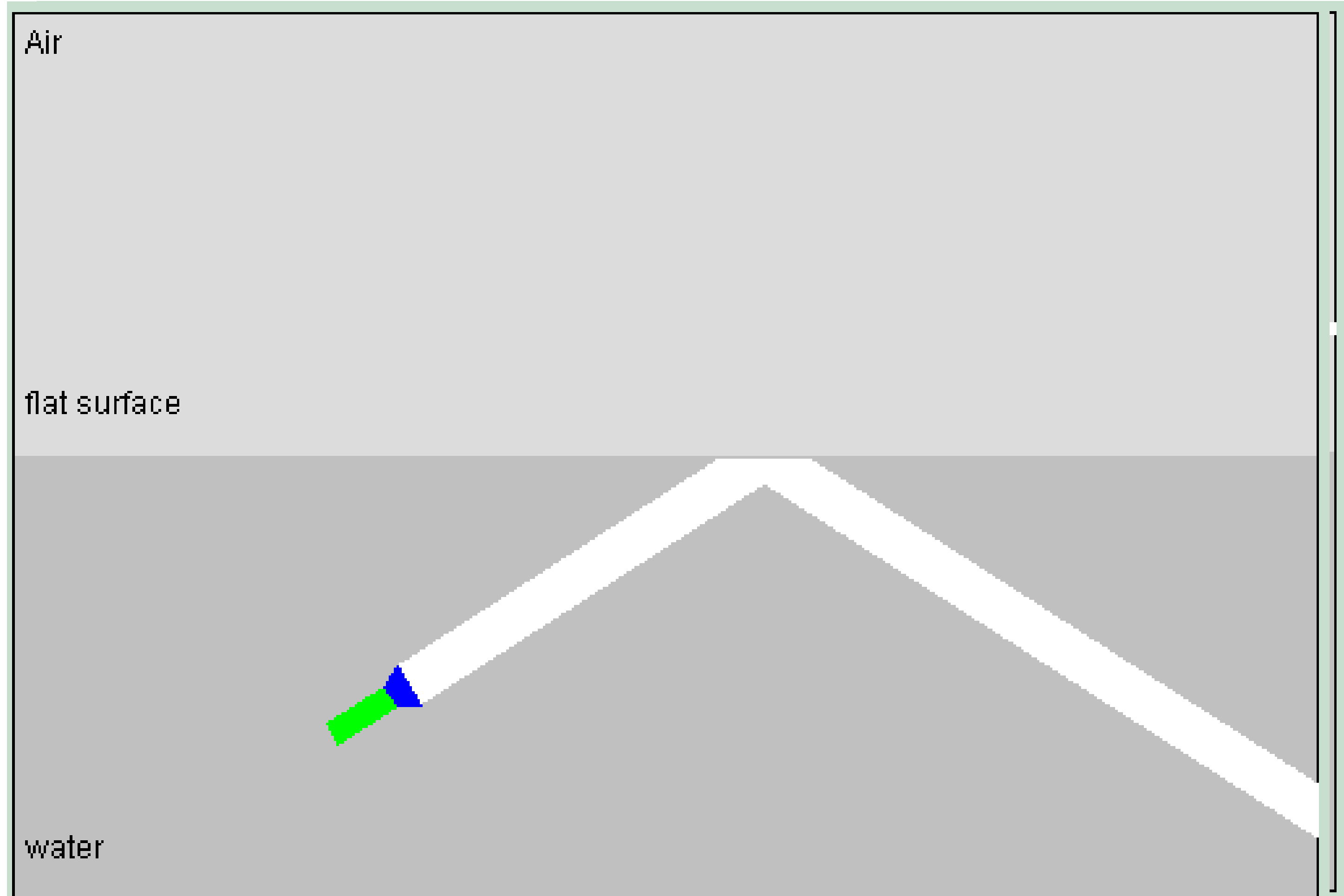
$$n_1 . \sin i = n_2 . \sin i'$$

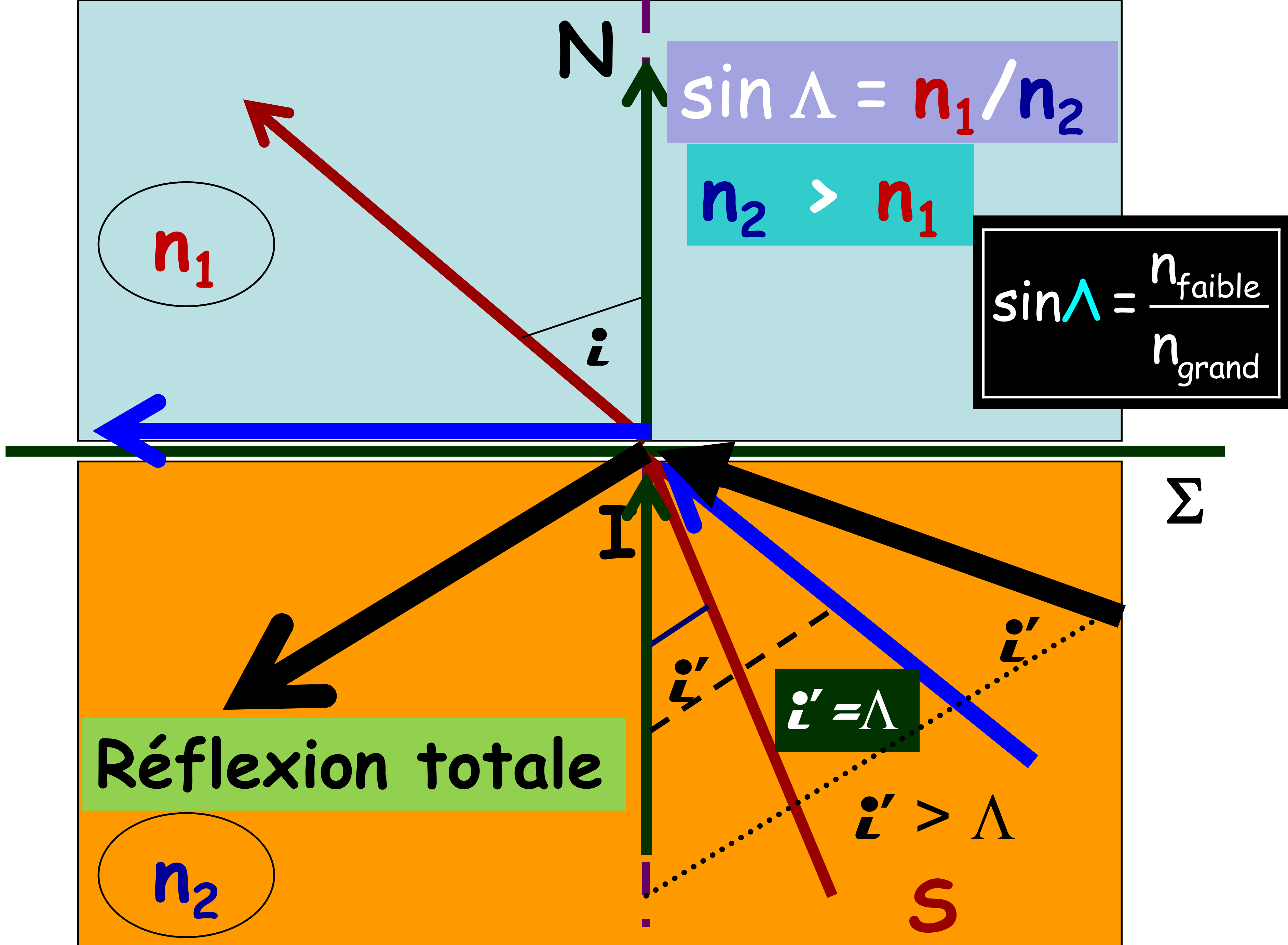




La loi de la réfraction

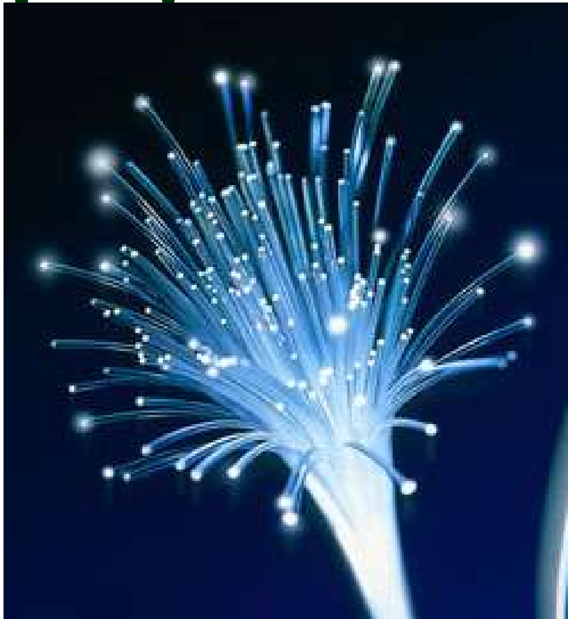
Angle de réfraction limite




N
sin Λ = n1/n2
n2 > n1
sinΛ = n_faible / n_grand
n1
i
Σ
I
i'
i' =Λ
i'
Réflexion totale
i' > Λ
n2
S

Le phénomène de la **réflexion totale** est utilisé pour canaliser la lumière, par exemple dans les **fontaines lumineuses** ou dans les **fibres optiques**, **l'endoscopie**, **fibroscopie** .

fibres optiques



$$\sin \Lambda_{eau-air} = \frac{n_0 = 1}{n_1 = \frac{3}{2}} = \frac{2}{3} = 0,67 \Rightarrow \Lambda_{eau-air} = 42^\circ$$

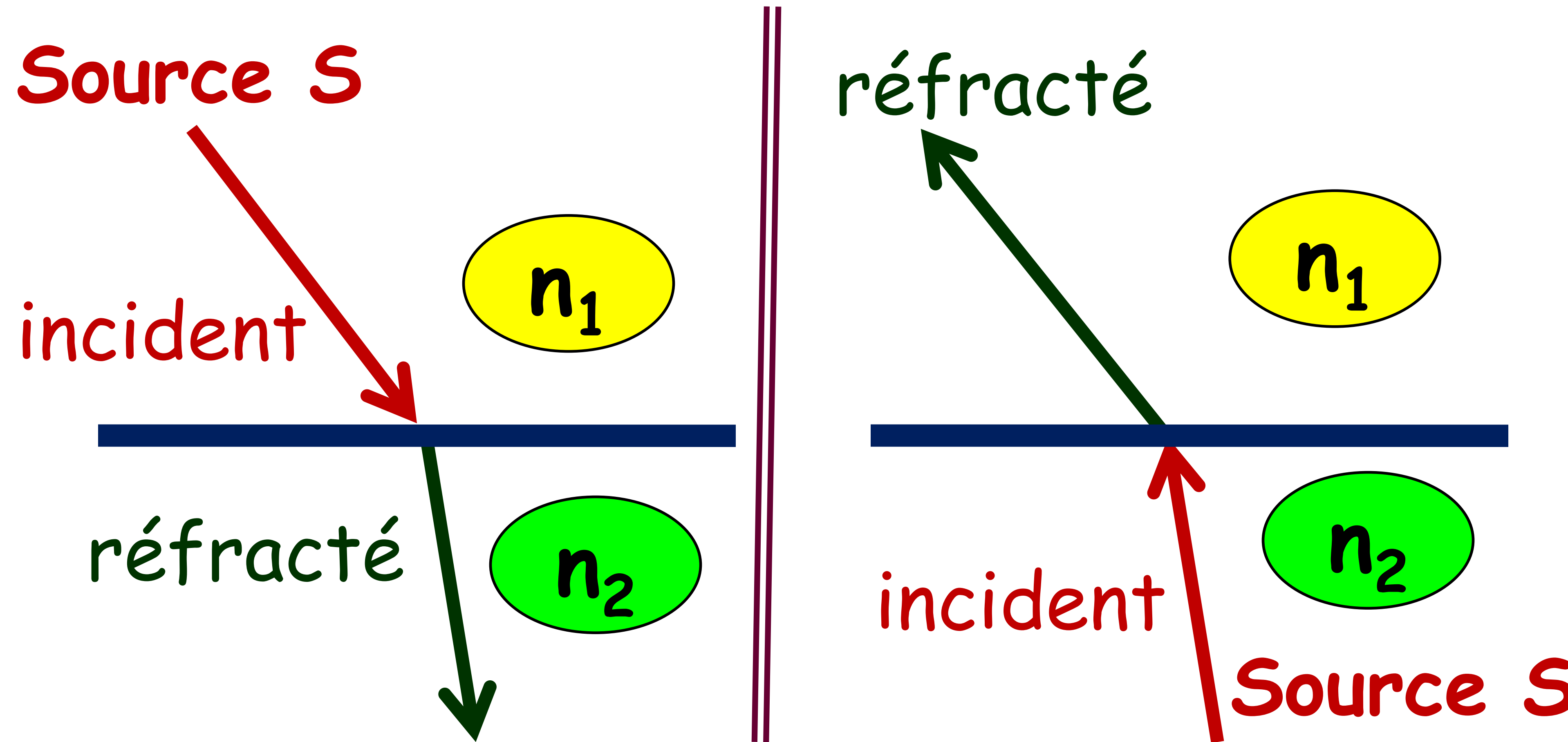
Fontaine lumineuse



$$\sin \Lambda_{eau-air} = \frac{n_0 = 1}{n_1 = \frac{4}{3}} = \frac{3}{4} = 0,75 \Rightarrow \Lambda_{eau-air} = 48^\circ,59$$

Le principe du retour inverse de la lumière

$$n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2 \Leftrightarrow n_2.\sin i_2 = n_1.\sin i_1$$



- **Remarques** : Lorsque les angles i_1 et i_2 sont petits, $angle \leq 15°$
la **loi de Snell-Descartes** pour la **réfraction** prend la forme simplifiée :



$$n_1 \, . \, i_1 \sim n_2 \, . \, i_2$$

connue sous le nom de « **la loi de Kepler** »

En appliquant le **principe de la propagation rectiligne** de la lumière, **l'optique géométrique** se propose d'étudier comment les **rayons lumineux**, partant des **objets**, cheminent en subissant des **réflexions** et des **réfractions** à travers divers milieux transparents appelés **systèmes optiques**, et concourent à la **formation des images**.

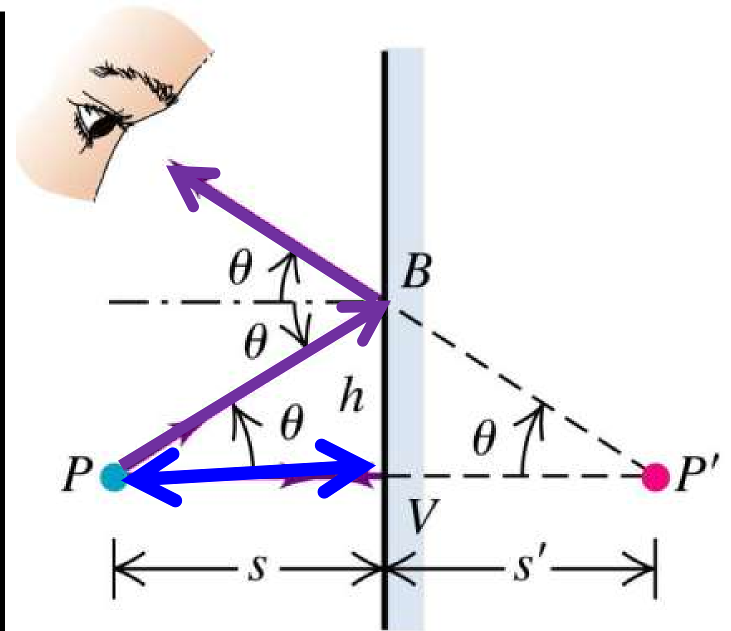
Le miroir plan

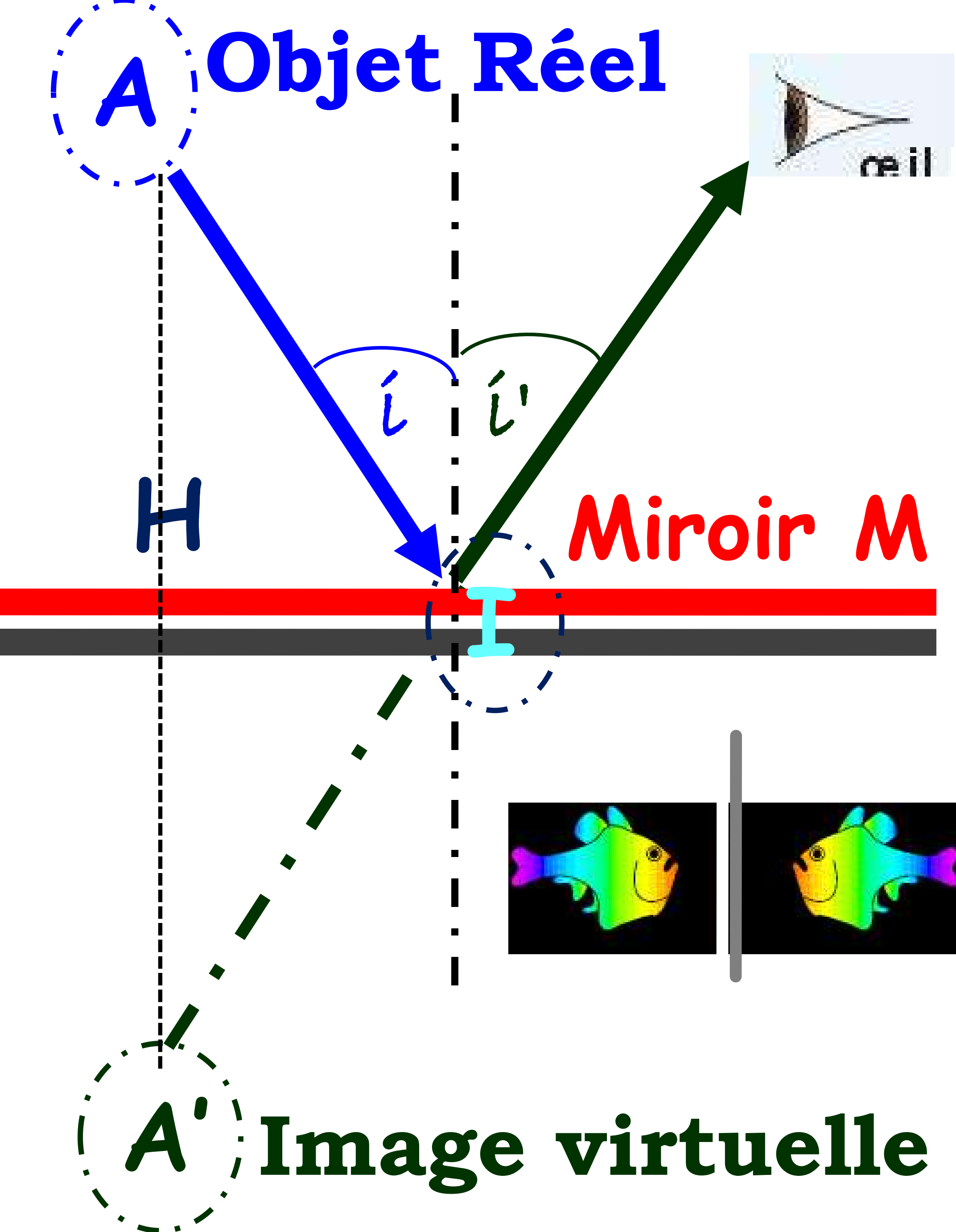


On appelle **miroir plan** une **surface réfléchissante** parfaitement plane polie recouverte d'une mince couche métallique (**argent** ou **aluminium**).



Un tel **miroir M** est généralement représenté par la trace de son plan disposé normalement au plan de figure. On couvre de **hachures** le **côté non réfléchissant**.

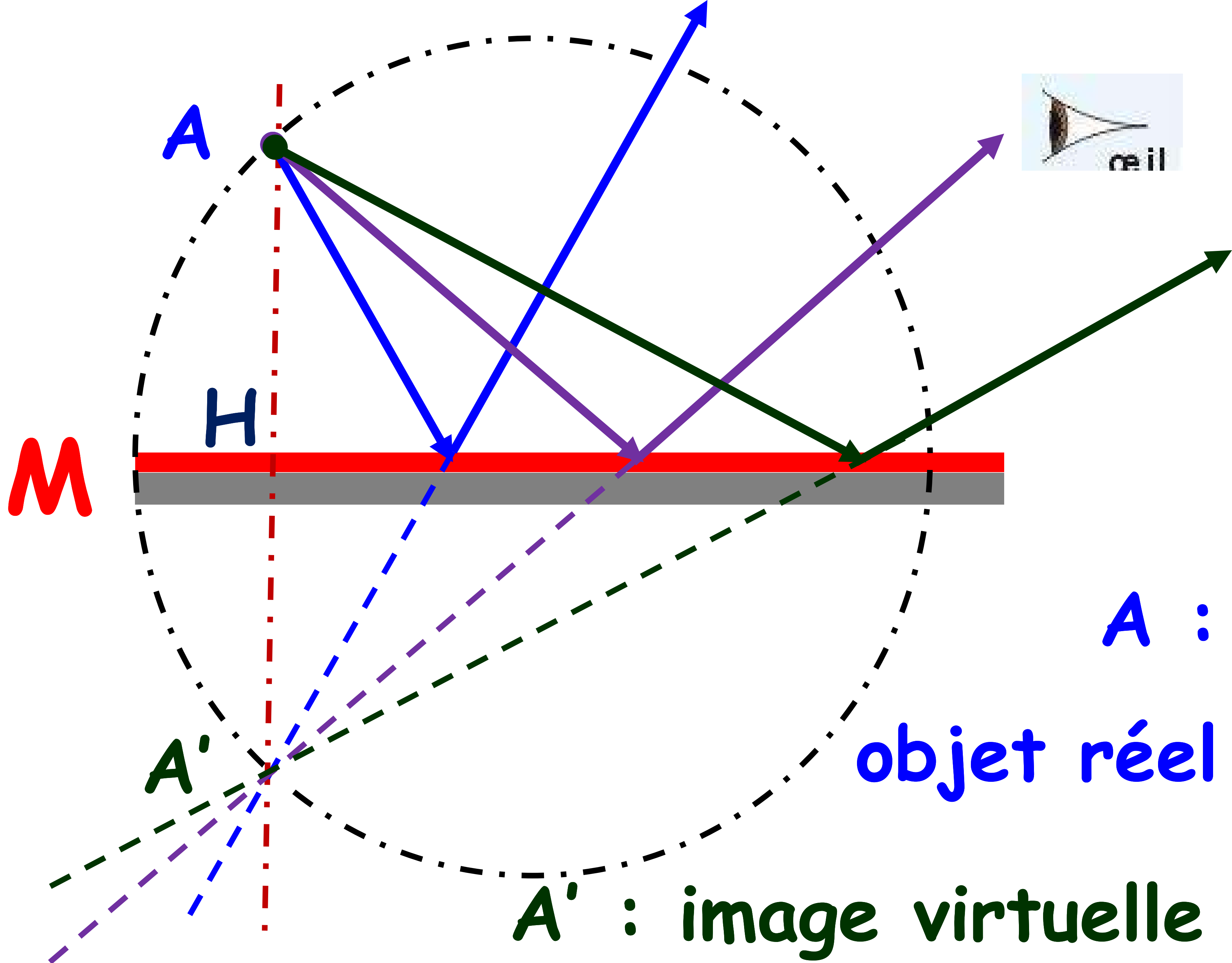




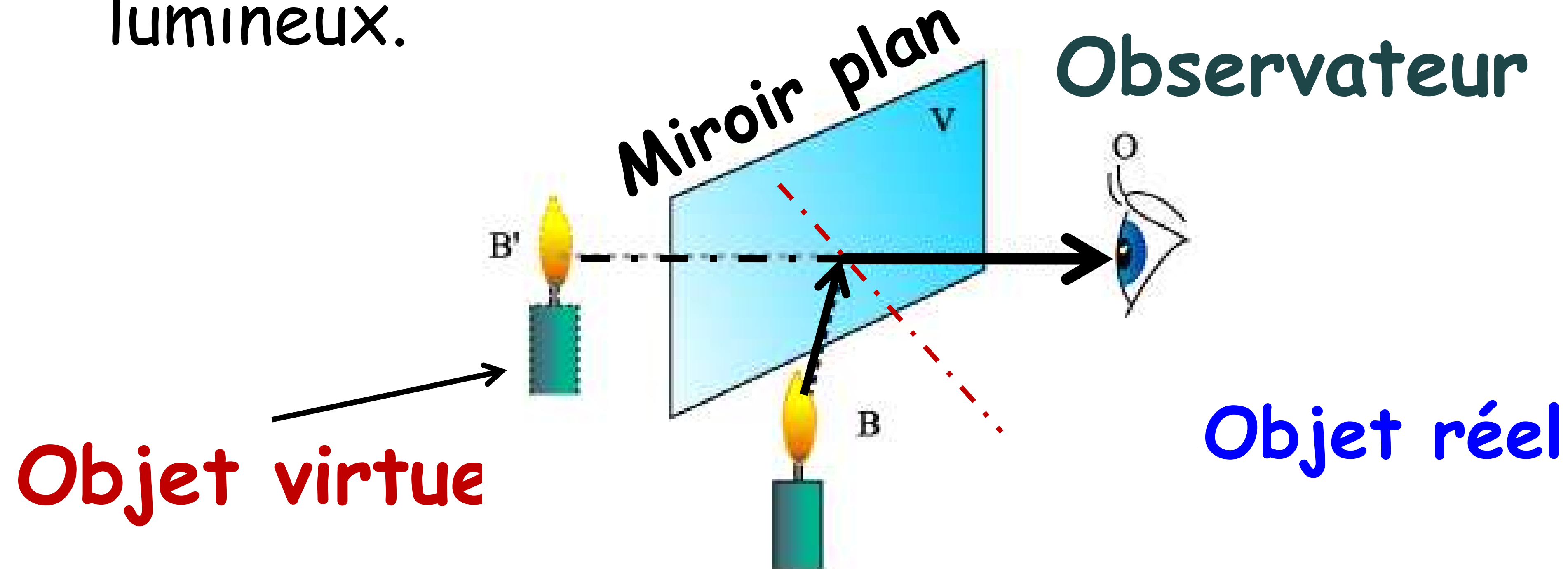
L'objet A et son image A', fournie par le miroir M, sont <u>symétriques</u> par rapport à M

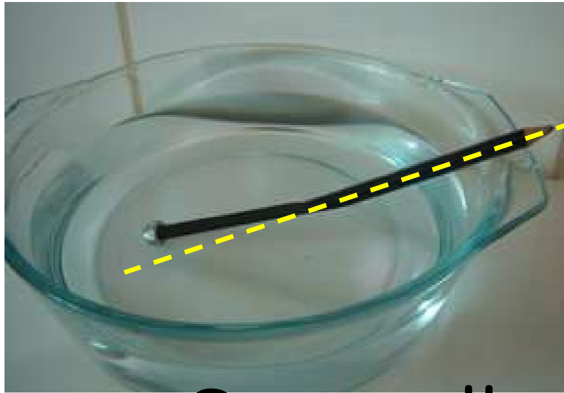
$$\overline{AH} = \overline{HA'}$$

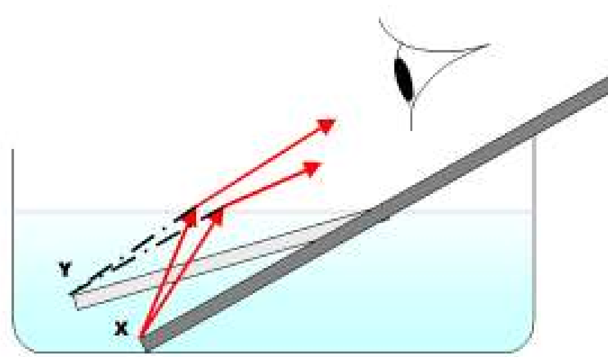
A et A' sont conjugués par le miroir plan M


A
œil
H
M
A'
A :
objet réel
A' : image virtuelle

- **Objet réel** : quand des rayons lumineux sont réellement issus de cet objet.
- **Objet virtuel** : quand les rayons lumineux semblent provenir de cet objet. Cet objet est l'intersection des prolongements des rayons lumineux.







LE DIOPTRE PLAN

On appelle **dioptre plan** la surface plane séparant deux milieux transparents et homogènes d'indices absolus n_1 et n_2 différents

air

La normale

Faisceau incident

eau

$n_1 \neq n_2$

Faisceau réfracté

rayon incident

rayon réfléchi

n_1

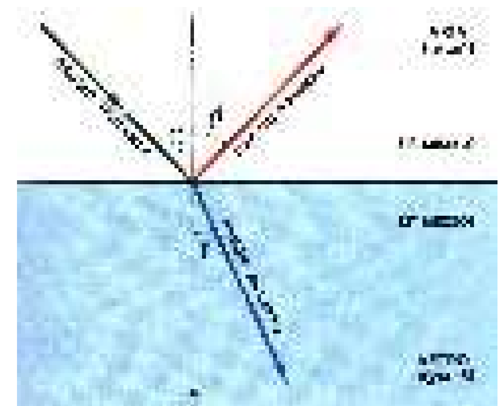
i_1 i_1

dioptre séparant les milieux d'indices n_1 et n_2

n_2

i_2

rayon réfracté





$$n_1 . \sin i_1 = n_2 . \sin i_2$$

2ème loi de Snell-Descartes

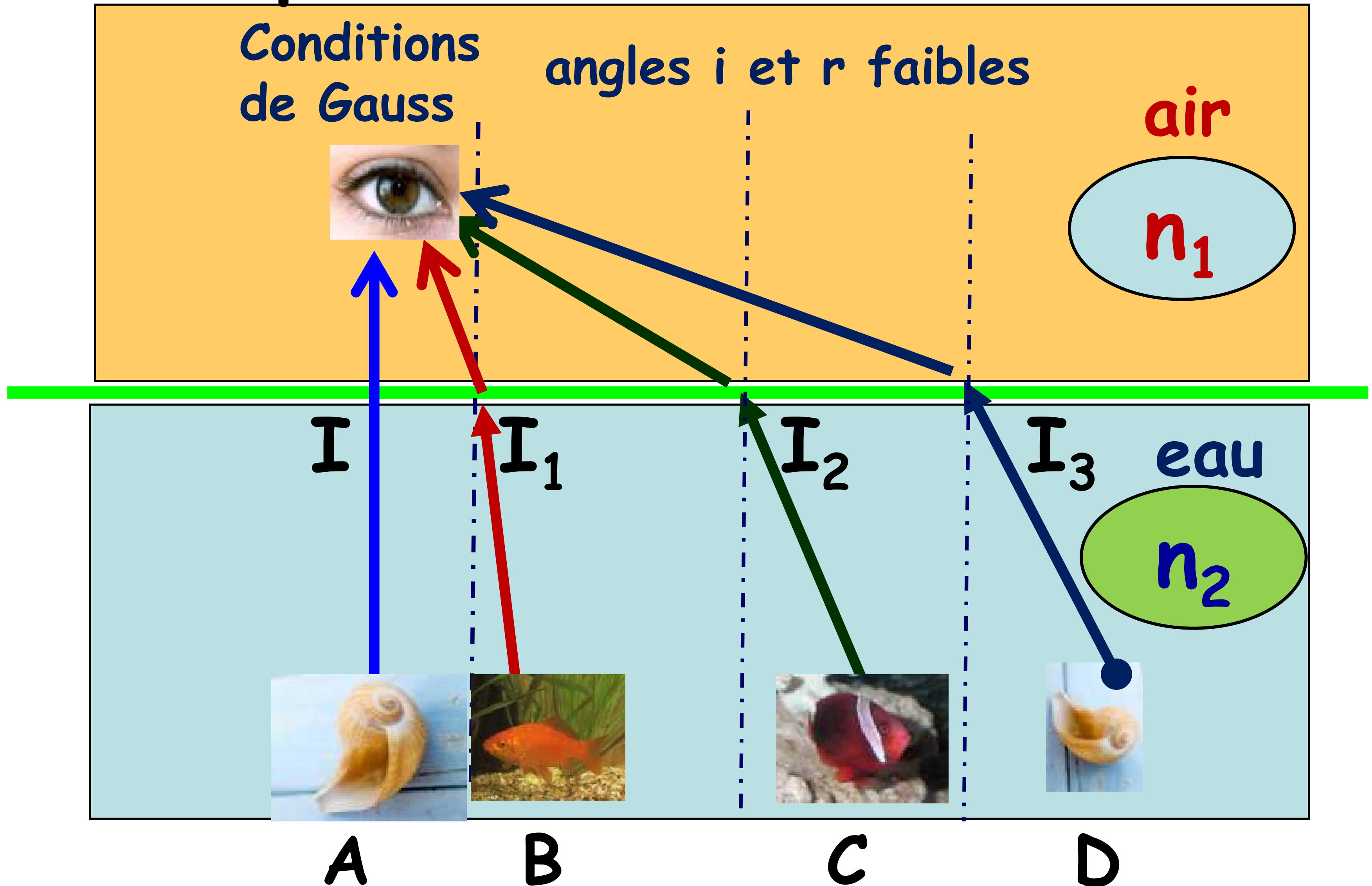
Conditions de Gauss

Lorsque le point objet n'envoie que des rayons incidents sensiblement proches à la normale au dioptre plan, autrement dit pour des angles i et r faibles, et les **lois de Snell-Descartes** s'écrivent comme suit :

$$\underbrace{i = r}_{\text{Réflexion}} \quad \text{et} \quad \underbrace{n_1 . i_1 = n_2 . i_2}_{\text{Réfraction}}$$

$n_1 < n_2$

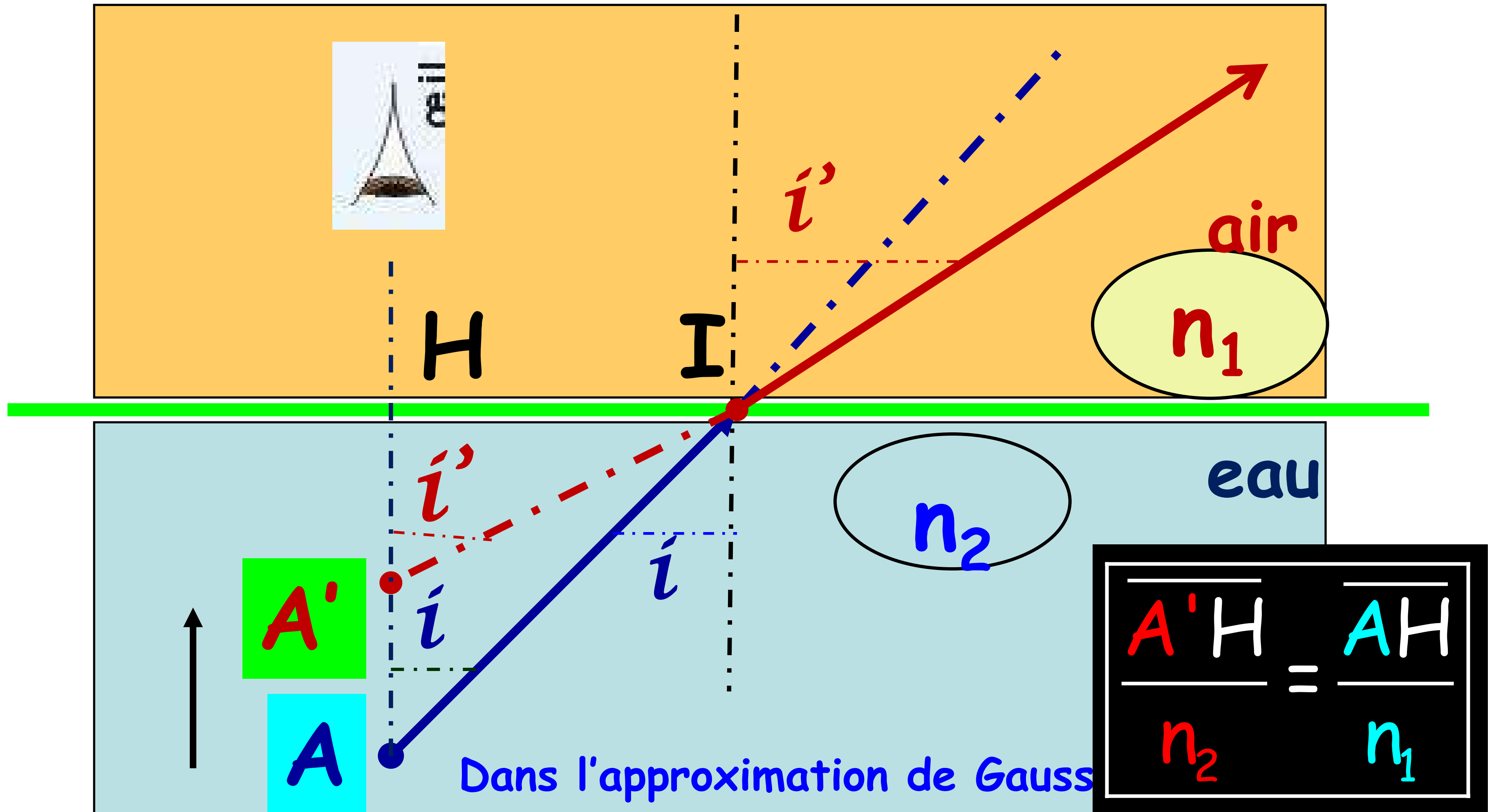
A et B sont vus nettement, par contre C et D sont flous



$n_1 < n_2$

$$tg\,i = \frac{\overline{HI}}{\overline{AH}} \quad \text{et} \quad tg\,i' = \frac{\overline{HI}}{\overline{A'H}}$$

$$\overline{AH}.i = \overline{A'H}.i' \Rightarrow$$



<u>La relation de conjugaison d'un dioptre plan</u>

Relation de conjugaison d'un dioptre plan (n_1, n_2)

$n_1 < n_2$

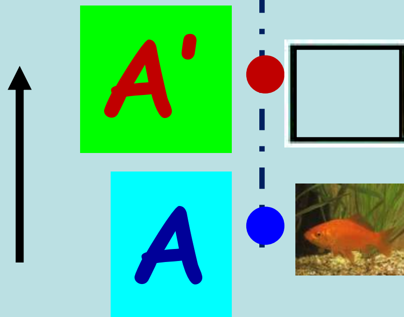
n_1 air



$$\frac{\overline{A'H}}{n_2} = \frac{\overline{AH}}{n_1}$$

H

Conditions de Gauss

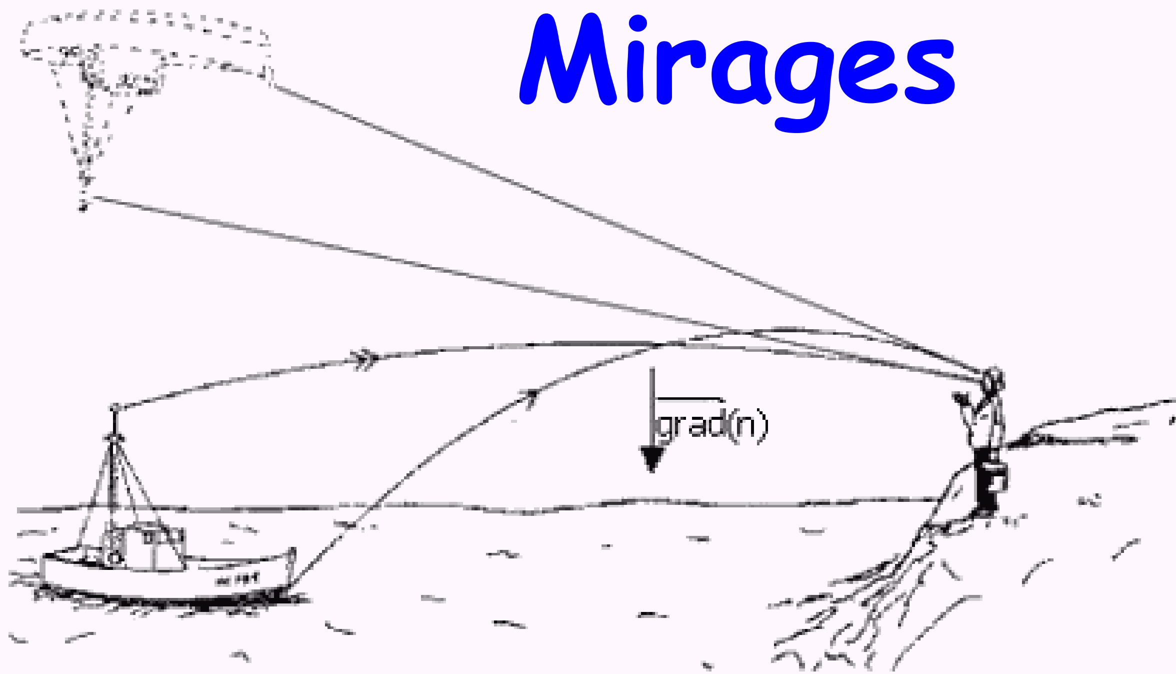


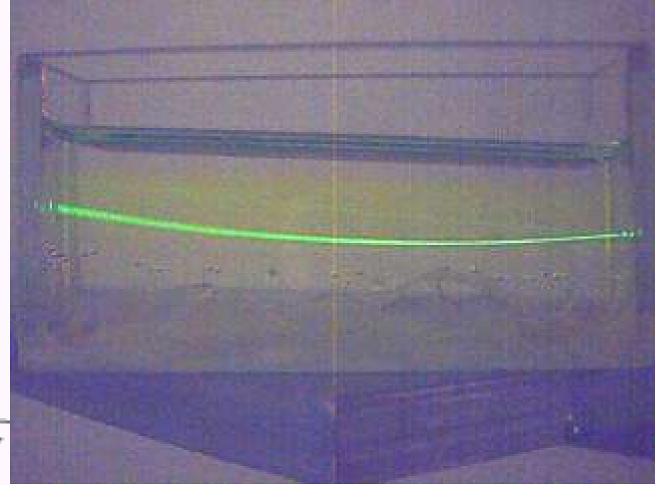
$$\overline{AA'} = \overline{AH}.\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)$$

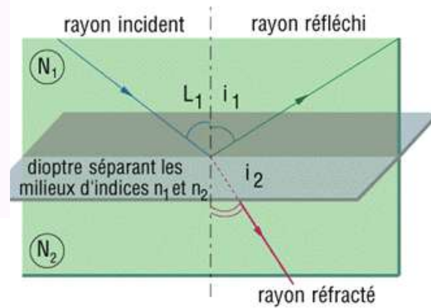
eau

n_2

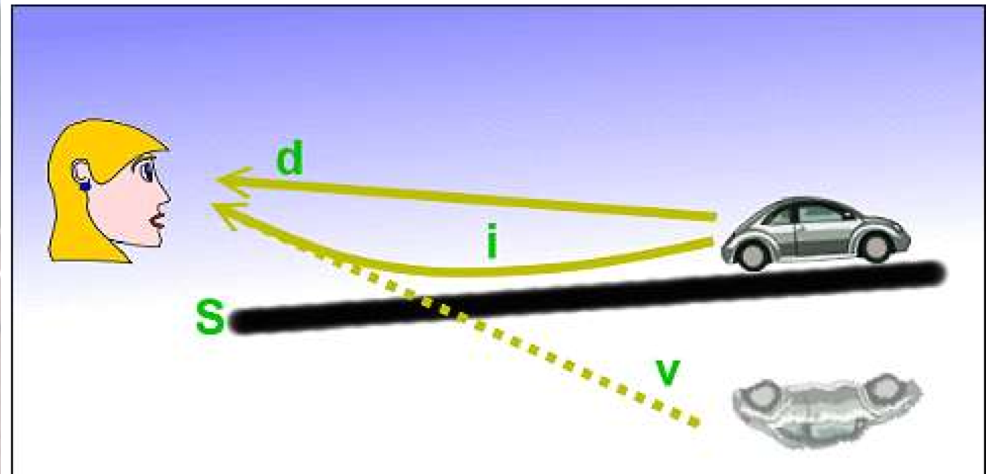
Mirages


grad(n)




rayon incident
rayon réfléchi
N_1
L_1
i_1
dioptre séparant les milieux d'indices n_1 et n_2
i_2
N_2
rayon réfracté

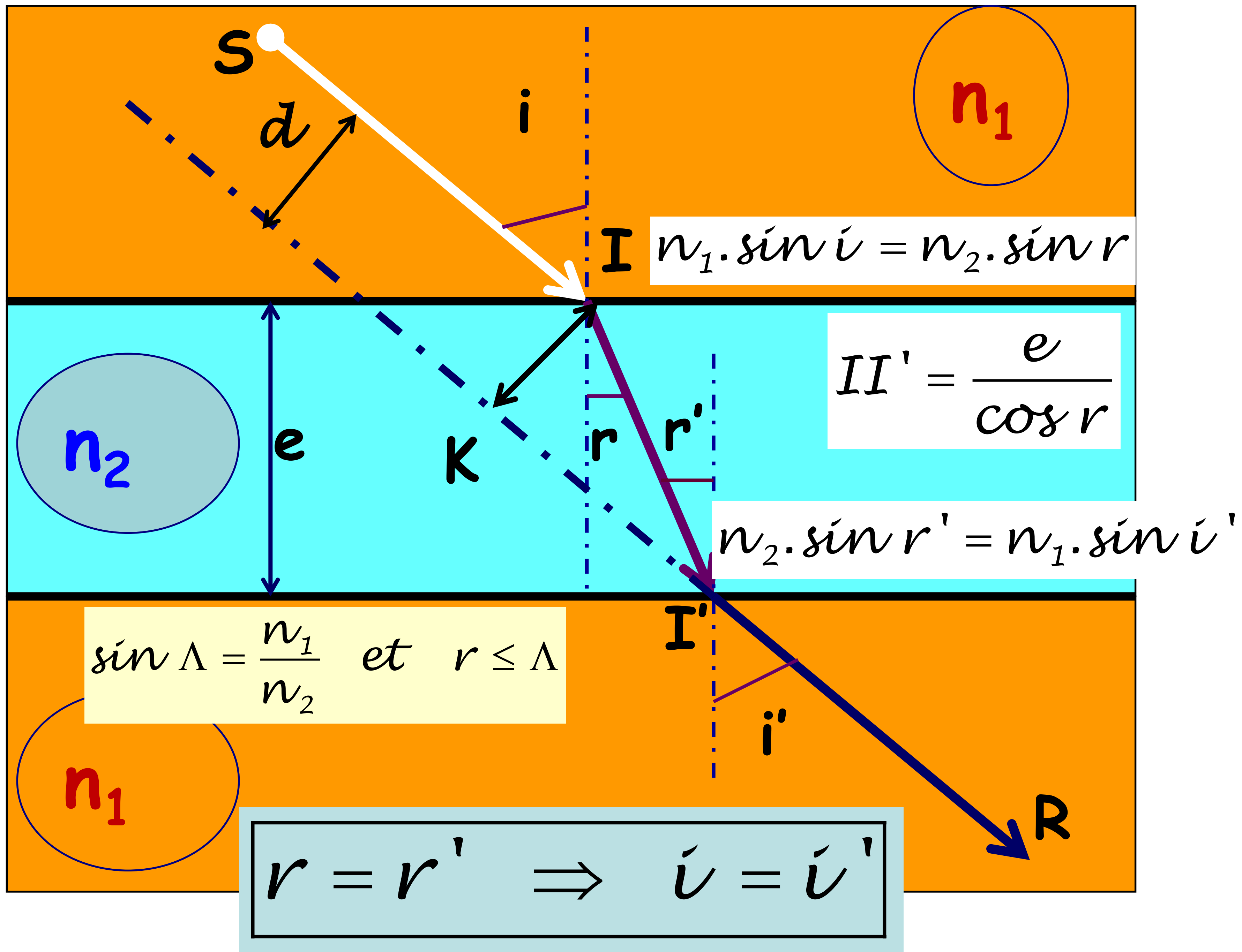



d
i
S
v

Lame à faces parallèles

Définition : Une lame à faces parallèles est un **milieu homogène** et transparent limité par deux dioptres plans parallèles, à une distance **e** qui est **l'épaisseur** de la lame. Les milieux extrêmes peuvent être différents ou identiques.





S
d
i
n_1
I
$n_1 . \sin i = n_2 . \sin r$
$II' = \frac{e}{\cos r}$
n_2
e
K
r
r'
$n_2 . \sin r' = n_1 . \sin i'$
I'
$\sin \Lambda = \frac{n_1}{n_2} \quad et \quad r \leq \Lambda$
i'
n_1
R
$r = r' \Rightarrow i = i'$

Les rayons lumineux incident et émergent sont parallèles. La lame à faces parallèles **d'épaisseur e** et d'indice de réfraction n permet alors de translater la lumière d'incidence i d'une quantité d :

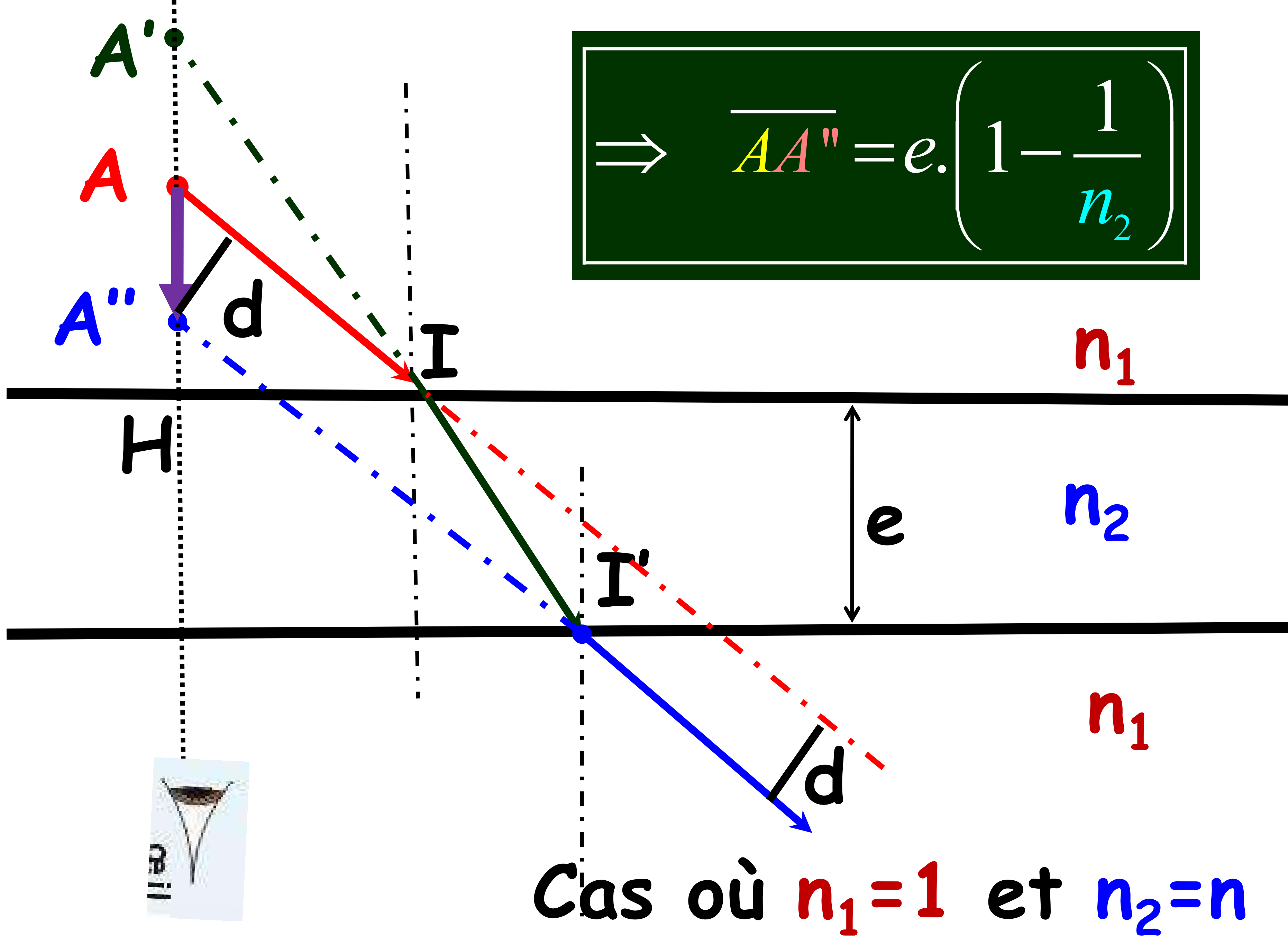
$$\sin i = n.\sin r \quad \Leftrightarrow \quad i = n.r$$

$$et \quad \overline{IH} = d = \frac{e}{\cos r}.\sin(i - r)$$

$$avec \quad \sin(i - r) \approx i - r \approx i.\left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad et \quad \cos r \approx 1$$

Si on se place dans les condition de Gauss, à savoir : i et r sont des angles petits (i < 15 ° & r < 15°)

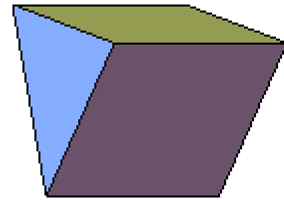
$$\overline{IH} = \overline{JS'} = d = e.i.\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$



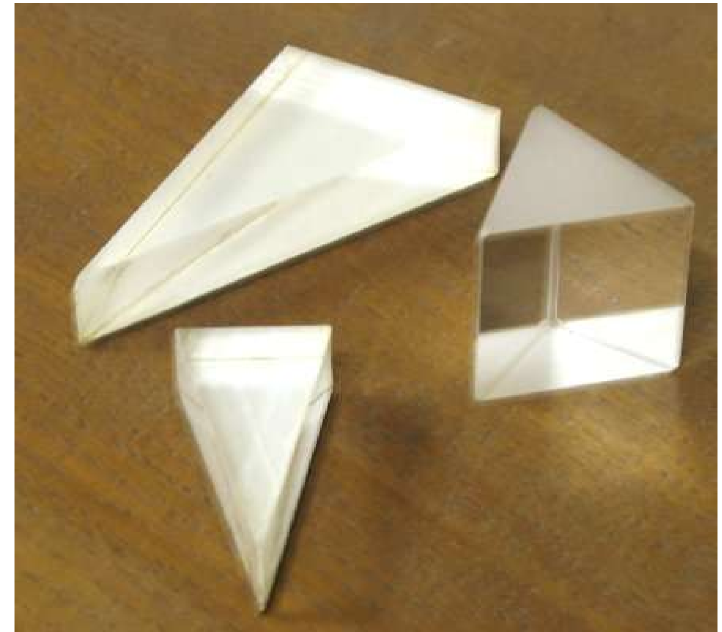
$\Rightarrow \overline{AA''} = e.\left(1 - \frac{1}{n_2}\right)$
A'
A
A''
d
I
H
I'
e
n_1
n_2
n_1
d
Cas où $n_1 = 1$ et $n_2 = n$

Le prisme

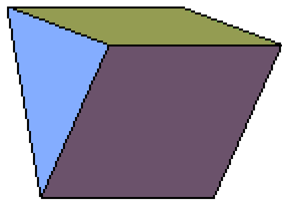
Définition : le prisme est un milieu réfringent limité par deux faces planes non parallèles.



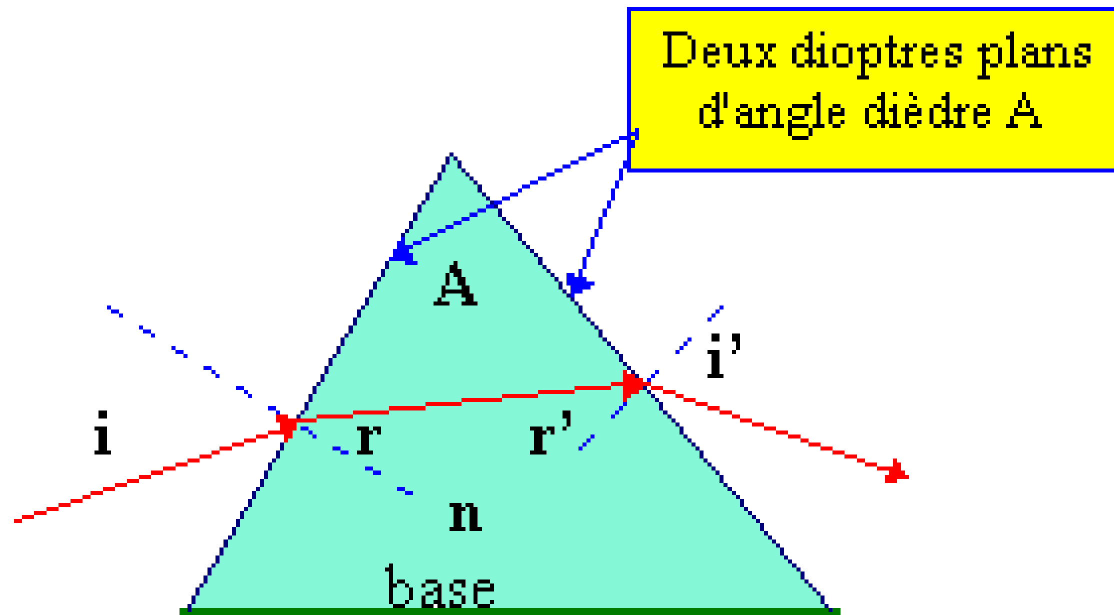
Quand ces deux faces se coupent réellement, la droite d'intersection est l'arrête du prisme, la face opposée à l'arête est la base. L'angle du prisme est défini par les deux faces non parallèles



L'interposition d'un prisme sur le trajet d'un **faisceau monochromatique** cylindrique provoque **seulement une déviation**, le faisceau reste cylindrique après la traversée de chacun des surfaces.



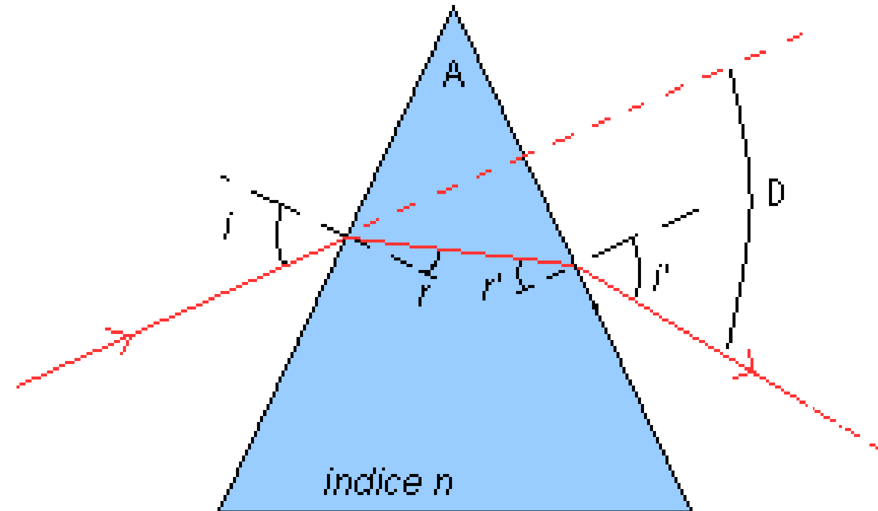




Déterminer la marche d'un rayon lumineux à travers un prisme, revient à déterminer les relations mathématiques qui lient les paramètres : **A**, **n**, **i**, **r**, **r'** **et** **i'**.

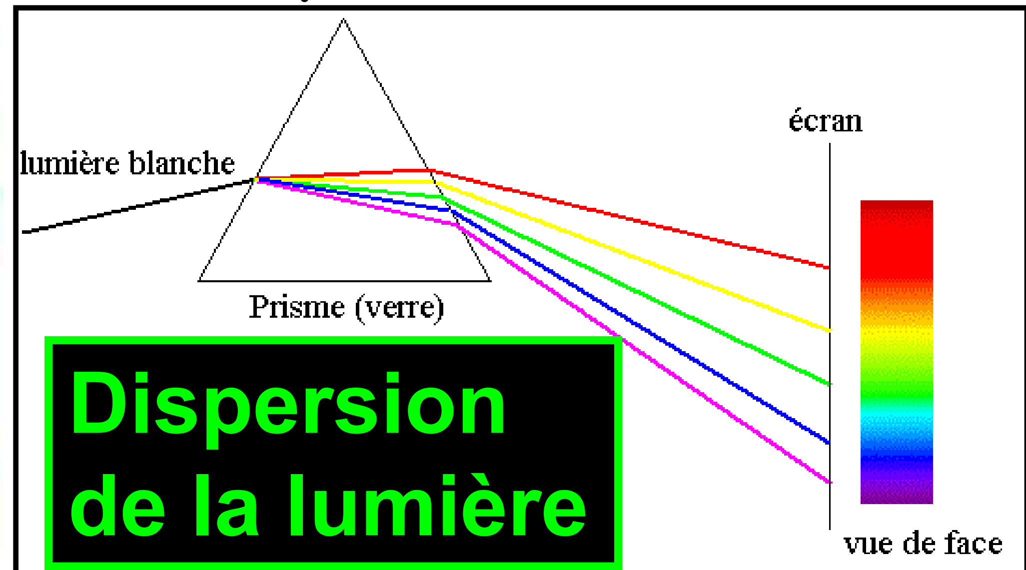
Les formules du prisme :

1. $\sin i = n.\sin r$
2. $\sin i' = n.\sin r'$
3. $A = r + r'$
4. $D = i + i' - A$



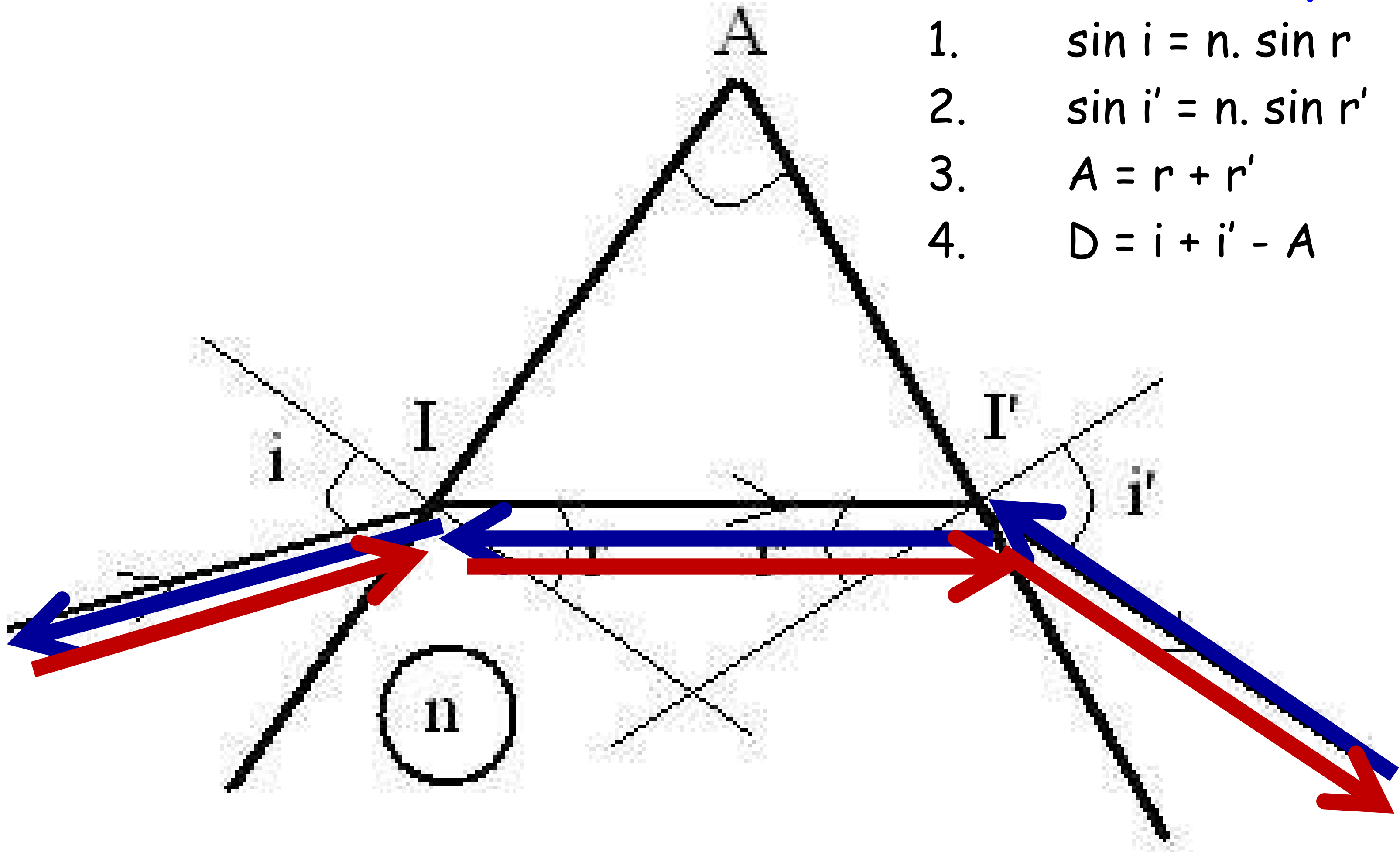
Si l'on opère avec de **la lumière blanche**, le faisceau émergent n'est plus cylindrique, outre **la déviation**, il subit **une décomposition** en **faisceaux colorés** : le phénomène de la **dispersion** de la lumière complexe en lumières simples.





Décomposition de la lumière blanche

Remarque : Principe du retour inverse de la lumière



Les formules du prisme :

1. $\sin i = n . \sin r$
2. $\sin i' = n . \sin r'$
3. $A = r + r'$
4. $D = i + i' - A$

Si les angles A et i **sont petits**, il en résulté que r, r' et i' sont également petits, et les **formules du prisme** s'écrivent comme suit :

Les formules du prisme :

$$i = n.r$$

$$i' = n.r'$$

$$A = r + r'$$

$$D = n.r + n.r' - A = (n-1).A$$

Dans le cas des petits angles, la déviation D est indépendante de l'angle d'incidence.

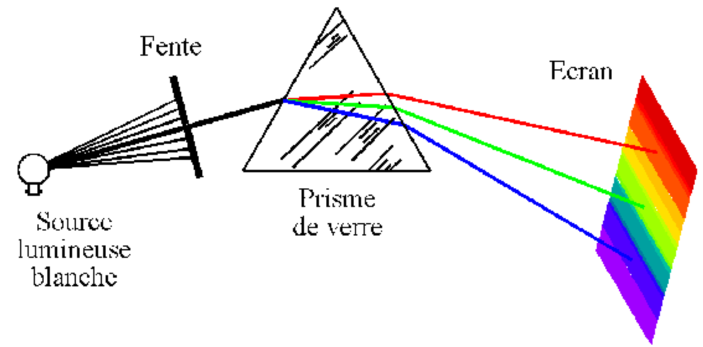
Conditions d'émergence pour un prisme

Pour avoir une réfraction aux points I et I', il faut que $A \leq 2.\Lambda$. Si $A > 2.\Lambda$ alors on aura **une réflexion totale** sur la 2ème face du prisme.

$$\underbrace{r}_{r<\Lambda} + \underbrace{r'}_{r'<\Lambda} = A \Rightarrow A \leq 2.\Lambda \Rightarrow \boxed{A_{max} = 2.\Lambda}$$

Tout prisme ayant un angle A supérieur à $A_M=2\Lambda$, sa face de sortie joue un rôle de miroir, et elle réfléchit tout rayon lumineux arrivant sous un angle r' > Λ





objet

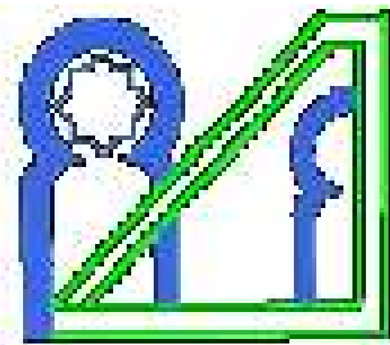
Système optique

observateur

Fin...



Surface sphérique : Miroir, dioptre et lentille



SVT session d'automne 2013

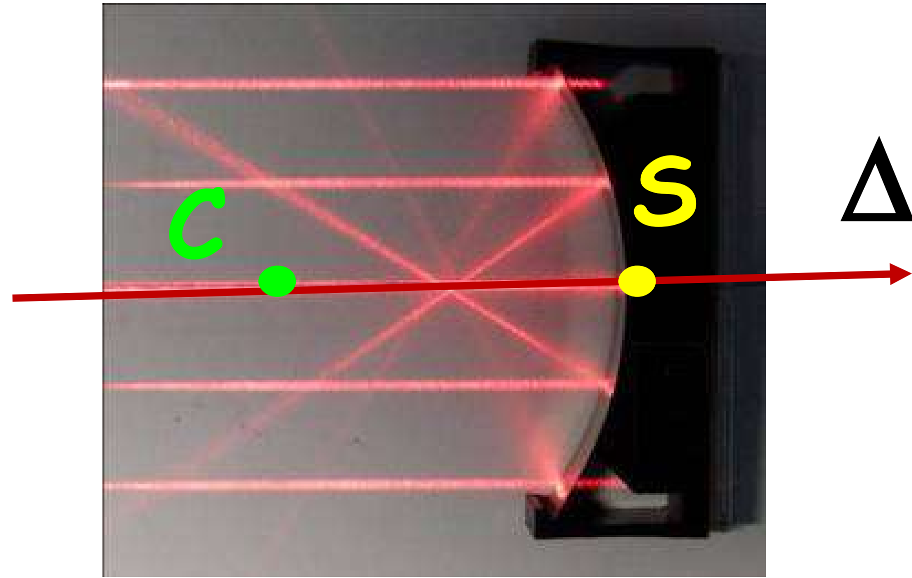
Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

miroirs sphériques

Définition :

Un **miroir sphérique** est une portion de sphère réfléchissante, de **centre** **C** et de **sommet** **S**. **Le rayon** du miroir sphérique est défini par la mesure algébrique : $R = \overline{SC}$

CS est **l'axe principal optique** (Δ) de ce miroir sphérique. La surface réfléchissante s'obtient par un dépôt métallique.



Il est à noter que **l'origine** de l'axe optique Δ peut être fixée arbitrairement en **C** ou en **S**.

Miroirs convexes



Miroirs de surveillance





Exemples :





Un miroir sphérique peut être **concave** ou **convexe** .

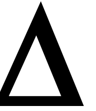
Surface réfléchissante

Miroir concave

Sens de propagation
de la Lumière



Axe optique

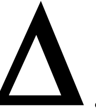


C R S

$$R = \overline{SC} < 0$$

Sens de propagation
de la Lumière





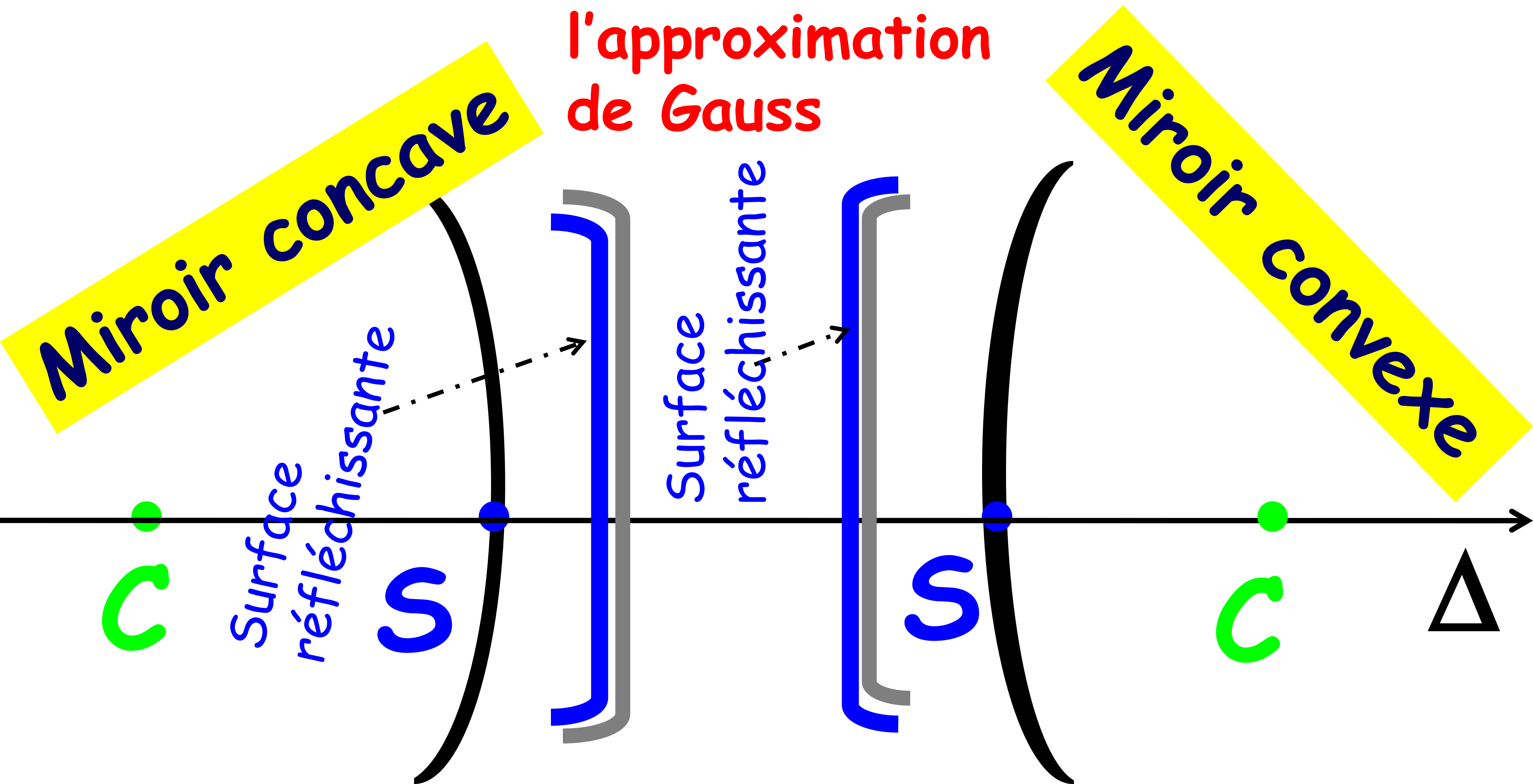
R C S

$$R = \overline{SC} > 0$$

Miroir convexe



Par convention, dans l'approximation de Gauss, un **miroir sphérique** de **sommet S** et de **centre C** est représenté par le **plan tangent** en S à sa surface.



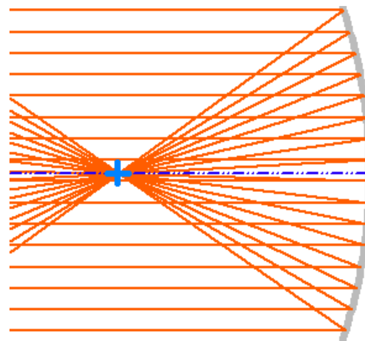
Dans **l'approximation de Gauss**, :

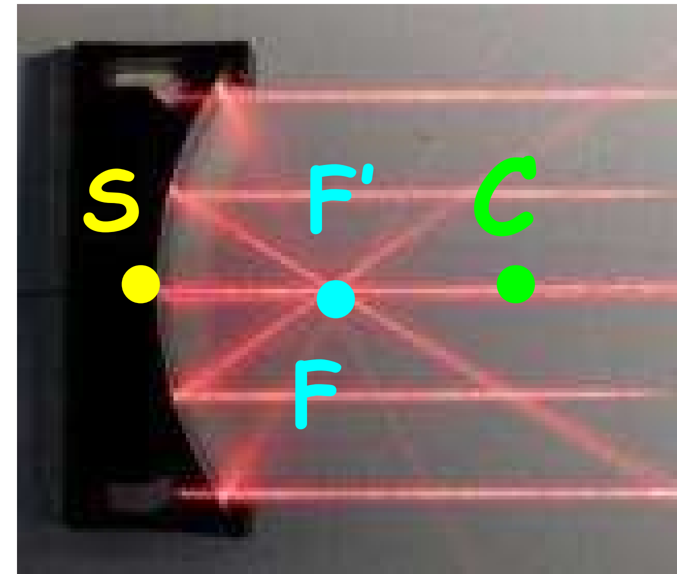
Le foyer image F' est à la moitié du rayon du miroir sphérique

$$\overline{CF'} = \overline{CF} = -\frac{\overline{SC}}{2}$$

$$f' = \overline{SF'} = \overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

Le foyer image **F '** est et le foyer objet **F** sont confondus avec le milieu du segment SC du miroir sphérique.





Foyer image F' :

objet A à l'infini image A' au foyer

$$f' = \overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

f' : distance focale image

F' : foyer principal image

Foyer objet F :

objet A au foyer image A' à l'infini

$$f = \overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

f : distance focale objet

F : foyer principal objet

Vergence d'un miroir sphérique

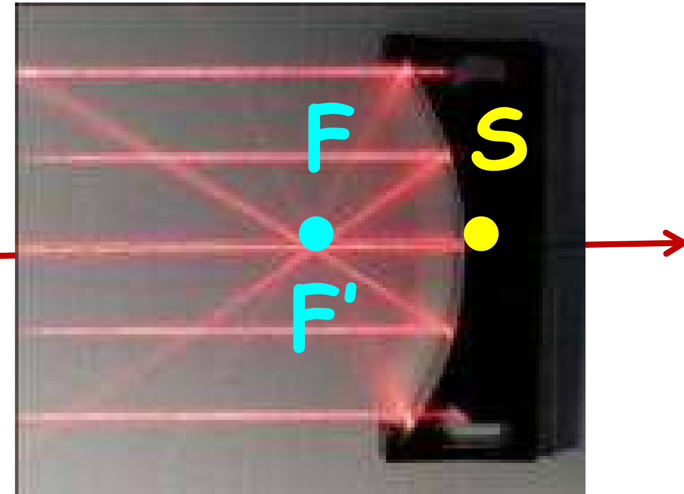
La vergence d'un **miroir sphérique** de sommet S et de centre C est définie comme l'inverse de sa **distance focale**. C'est une expression algébrique. **L'unité** de la **vergence** est donc le mètre^{-1}, m^{-1}, appelé dioptrie et notée δ.

$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{SF'}} = \frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{f} = \frac{1}{\overline{SF}}$$

Miroir concave est convergent avec une vergence négative, ses foyers sont réels.

$$V = \frac{1}{\overline{SF'}} < 0$$

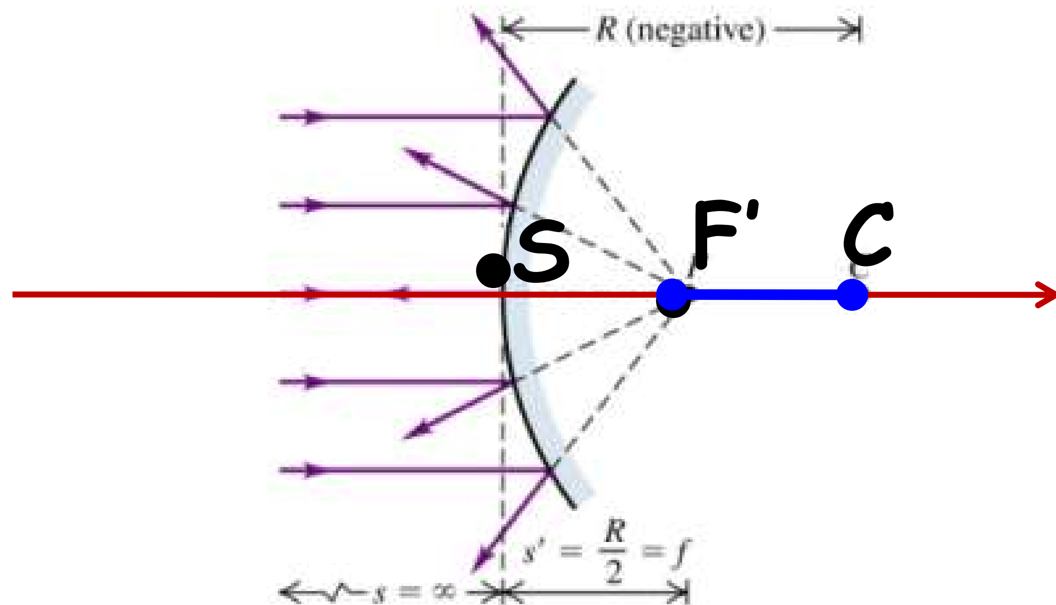
Foyers réels



• **Miroir convexe est divergent avec une vergence positive, ses foyers sont virtuels.**

$$V = \frac{1}{\overline{SF'}} > 0$$

Foyers imaginaires



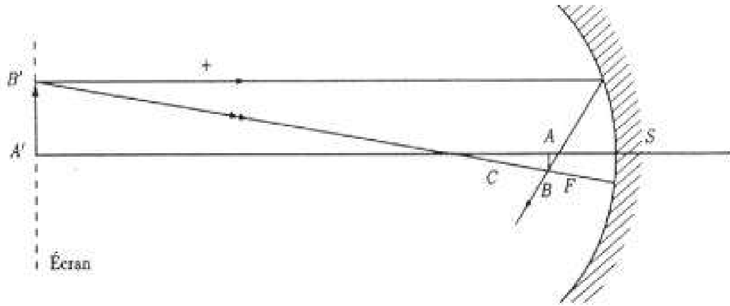
Il est à noter que ces formules sont des relations entre les **positions** et les **dimensions** de l'objet AB et de son image A'B'.

Elles sont établies et valables dans les conditions de l'approximation de Gauss.

Pour obtenir la relation de conjugaison, il suffit de considérer les points situés sur l'axe principal optique Δ du miroir.

Relation de conjugaison de A et A' :

Au point **I** : i = i ' (1ère loi de Snell-Descartes)



le sommet S

$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}} = \frac{1}{\overline{SF'}}$$

I

i

i

ω

Δ

A

C

A'

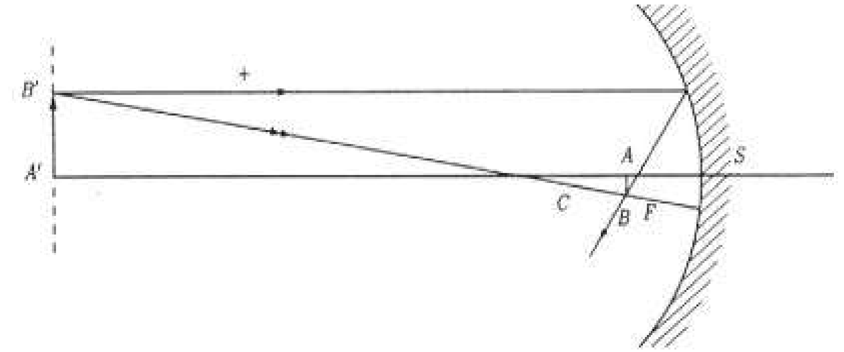
S

le centre C

$$\frac{1}{\overline{CA'}} + \frac{1}{\overline{CA}} = \frac{2}{\overline{CS}}$$

Le point **objet A** et son **point image A'**, formée par le miroir M :

On appelle **grandissement linéaire** d'un miroir sphérique pour une position de l'objet AB, **le rapport** entre une dimension linéaire de **l'image A'B'** et celle de de **l'objet AB**.



$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

construction d' image

utilisation au moins de 2 sur 3 rayons particuliers

- tout rayon passant par le centre du dioptre n'est pas dévié
- tout rayon passant par F ressort // à l'axe optique Δ
- tout rayon // à l'axe optique Δ passe par F'

Objet réel

Cas n°1

$-\infty < \text{objet} < C$

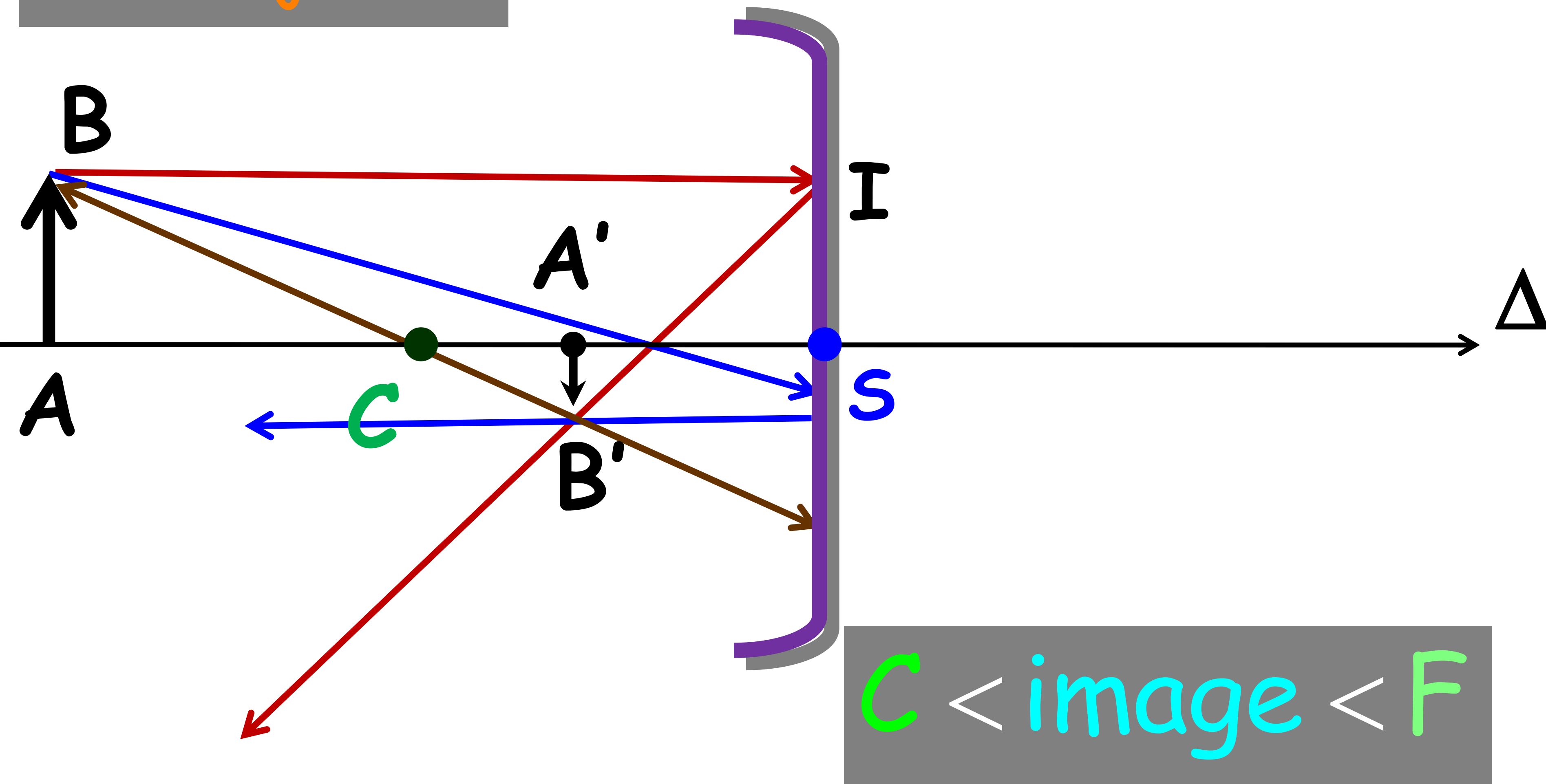


Image réelle renversée

Objet réel

Cas n°2

objet = C = image

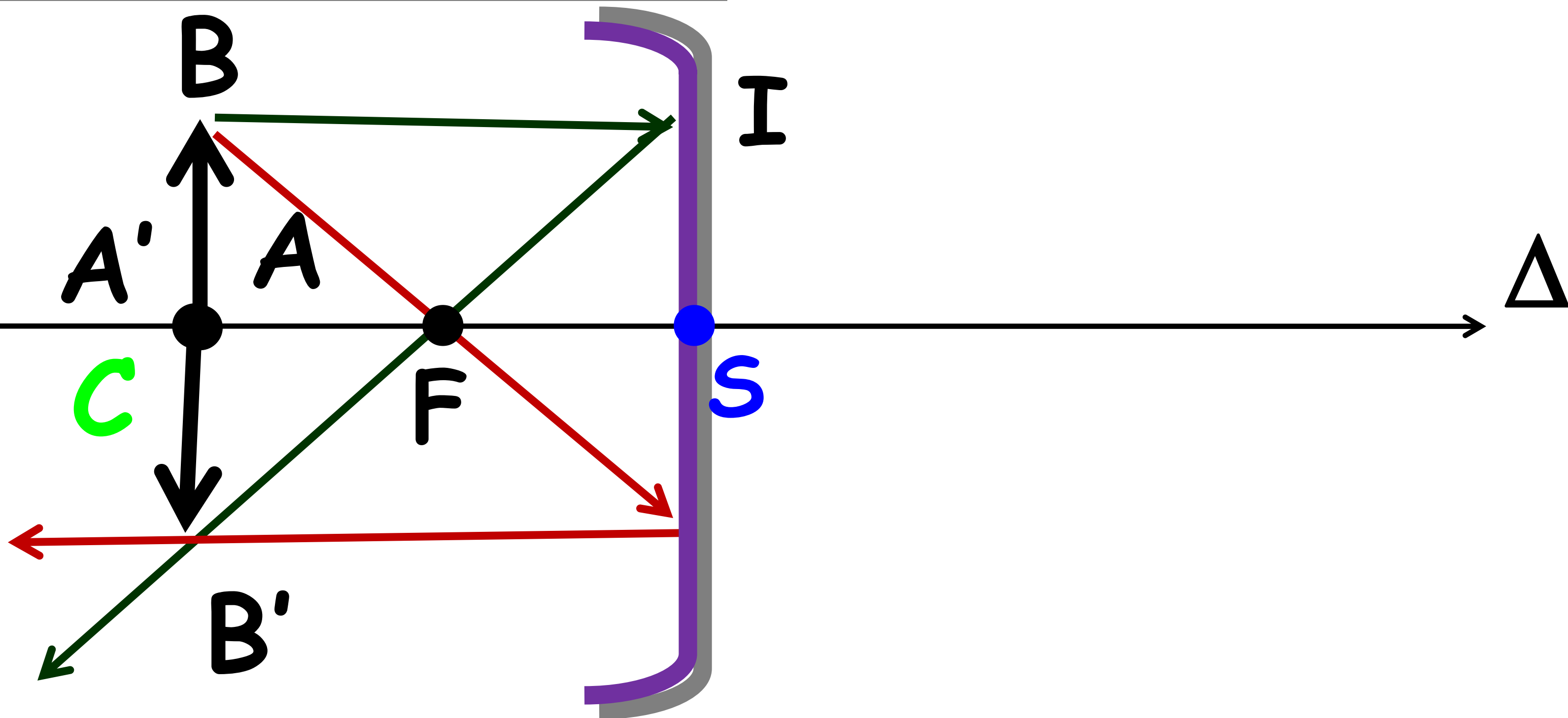


Image réelle renversée

Objet réel

$C < \text{Objet} < F$

Cas n°3

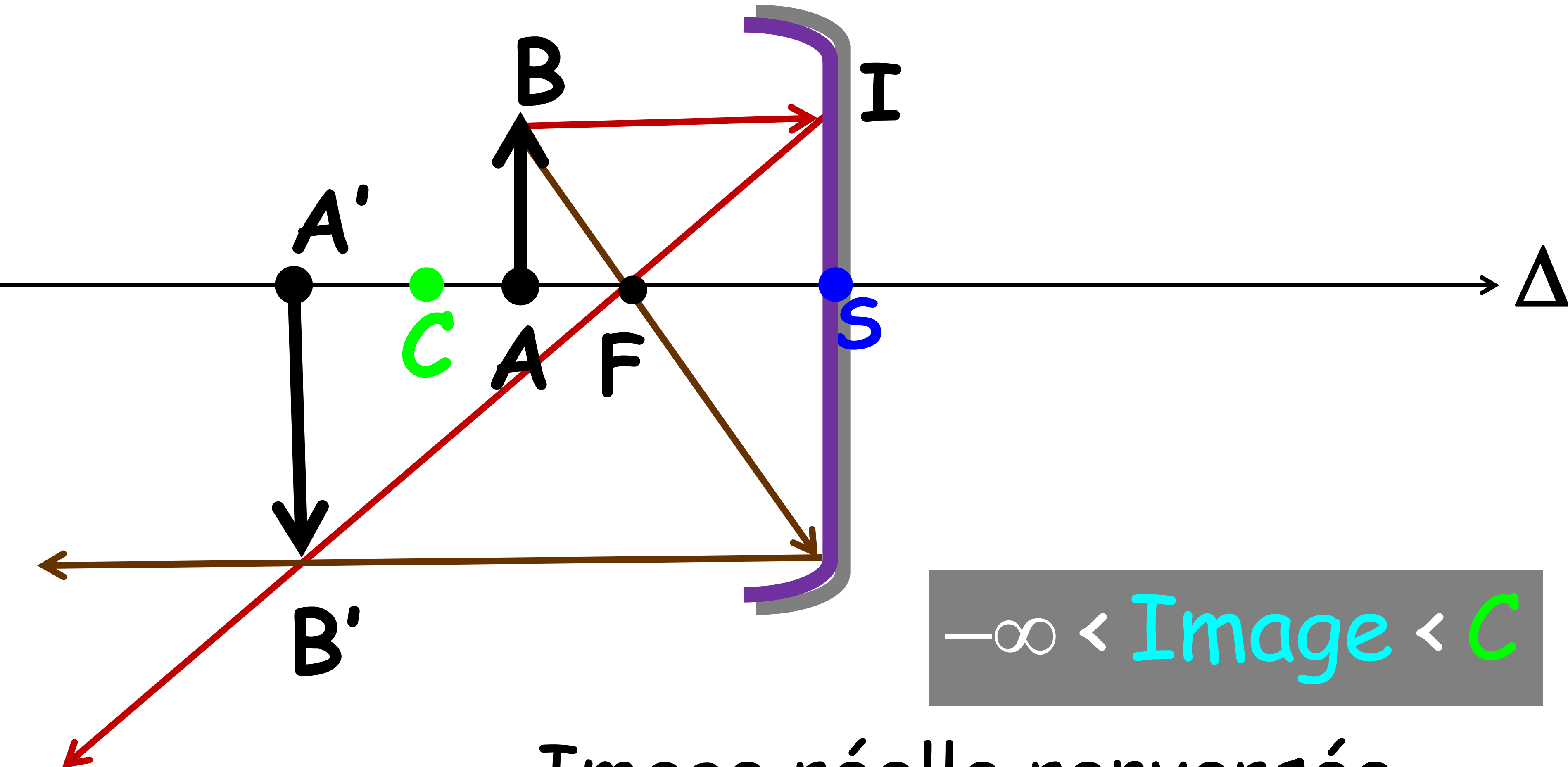
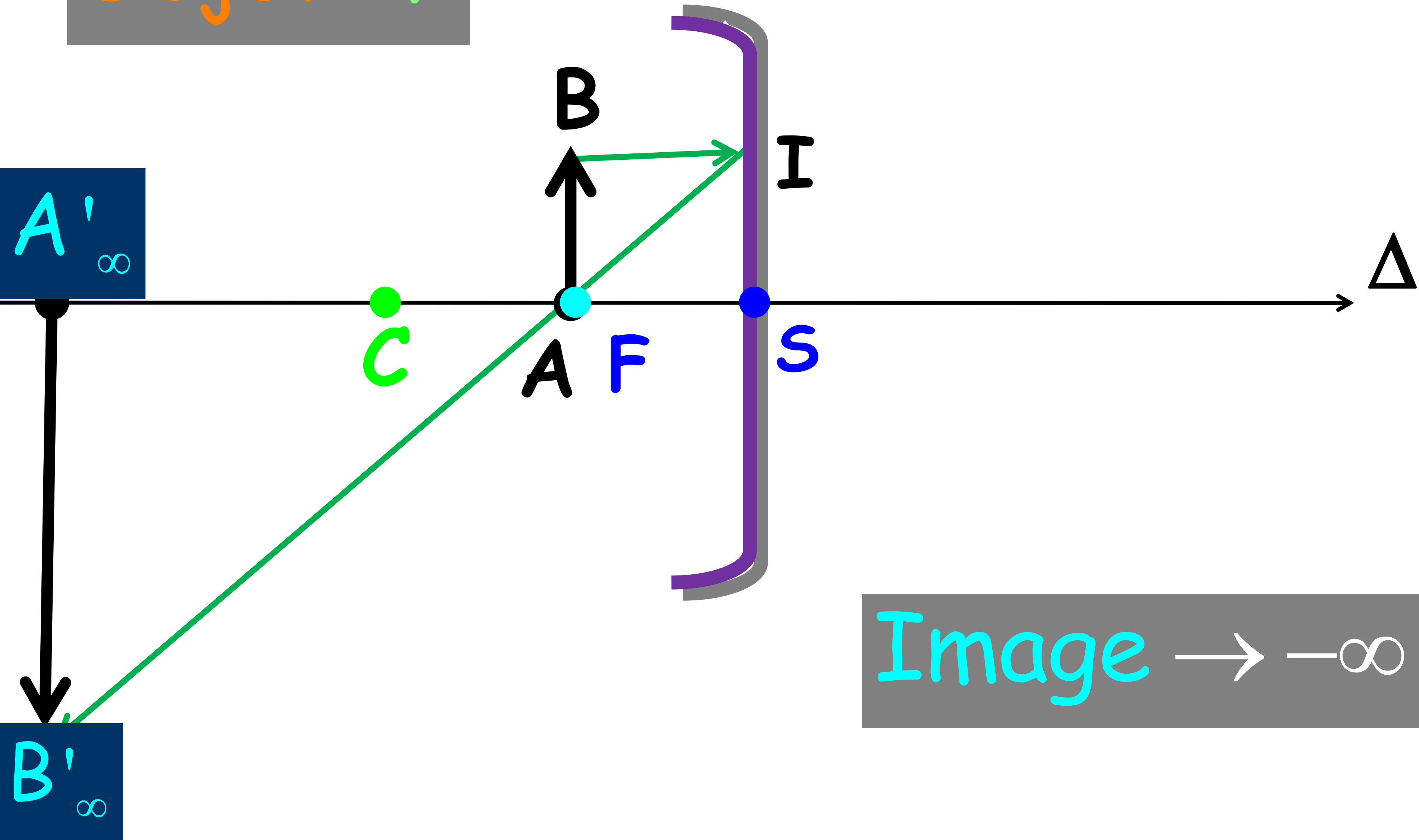


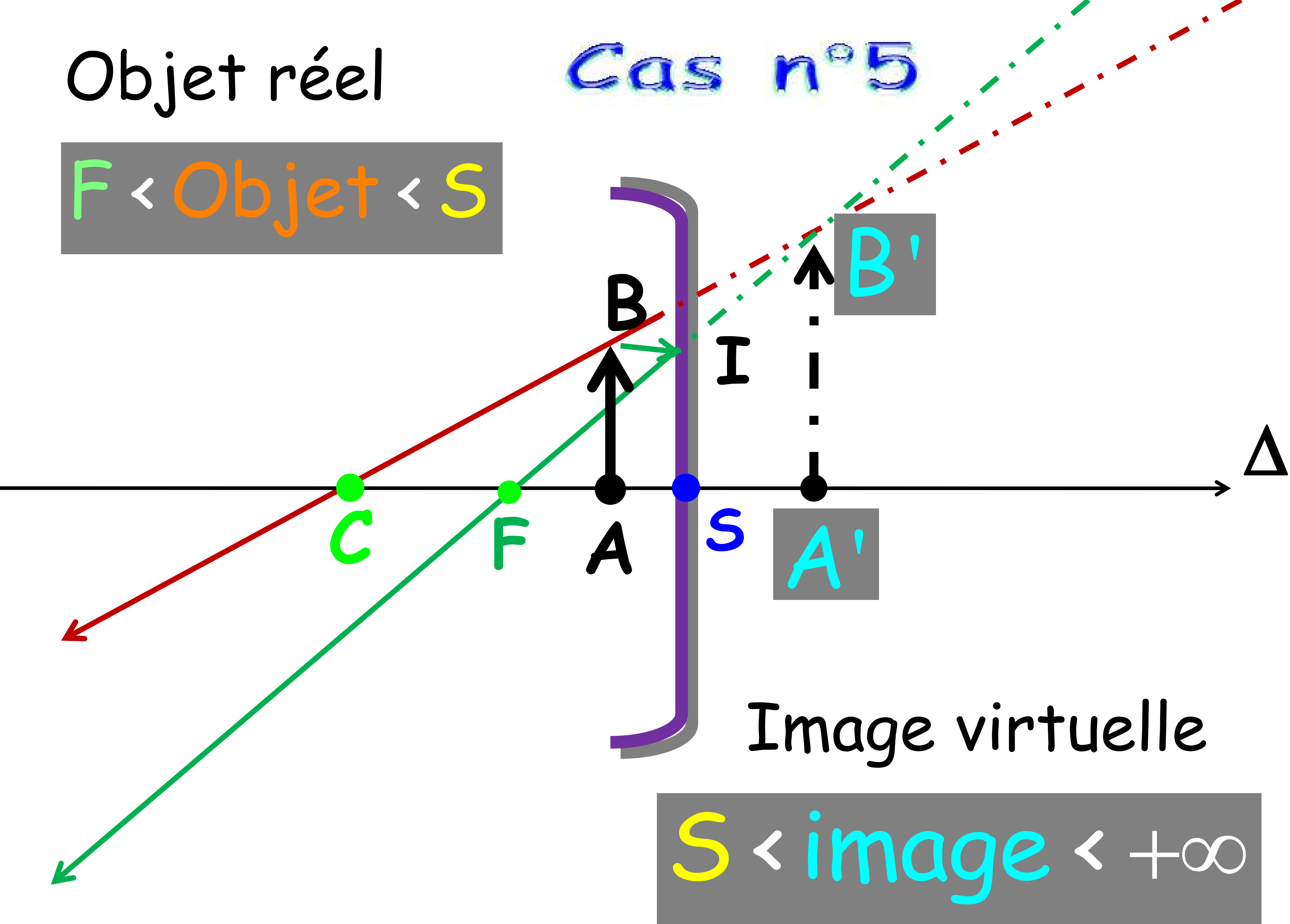
Image réelle renversée

Objet réel

Cas n°4

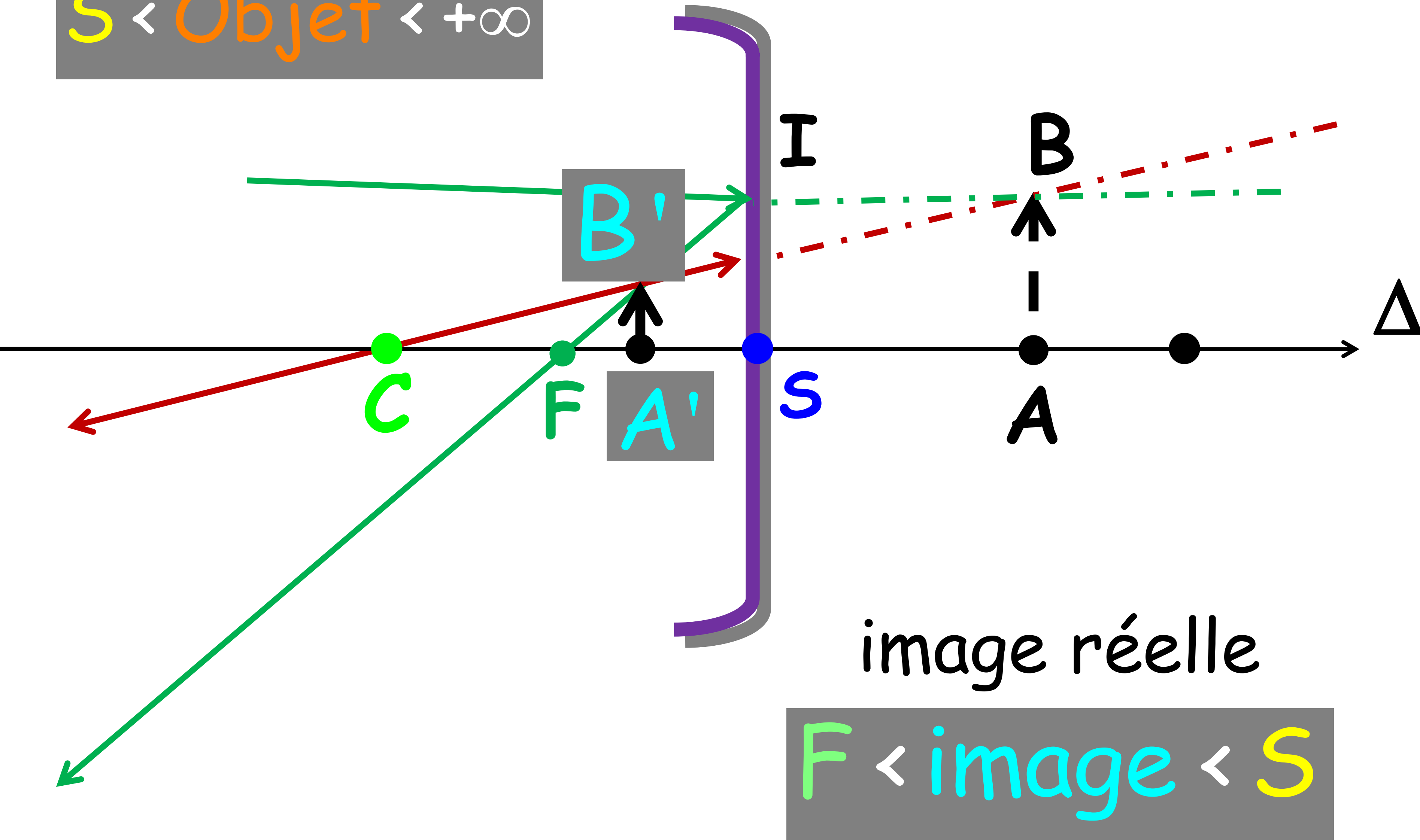
Objet = F




Objet réel
Cas n°5
F < Objet < S
B'
B
I
Δ
C
F
A
S
A'
Image virtuelle
S < image < +∞

objet virtuel

Cas n°6



Définition : Un dioptre sphérique est un ensemble de <u>deux milieux homogènes</u> d'indices de réfraction différents n_1 et n_2, séparés par une surface sphérique.

Milieu 1 d'indice

Dioptre plan

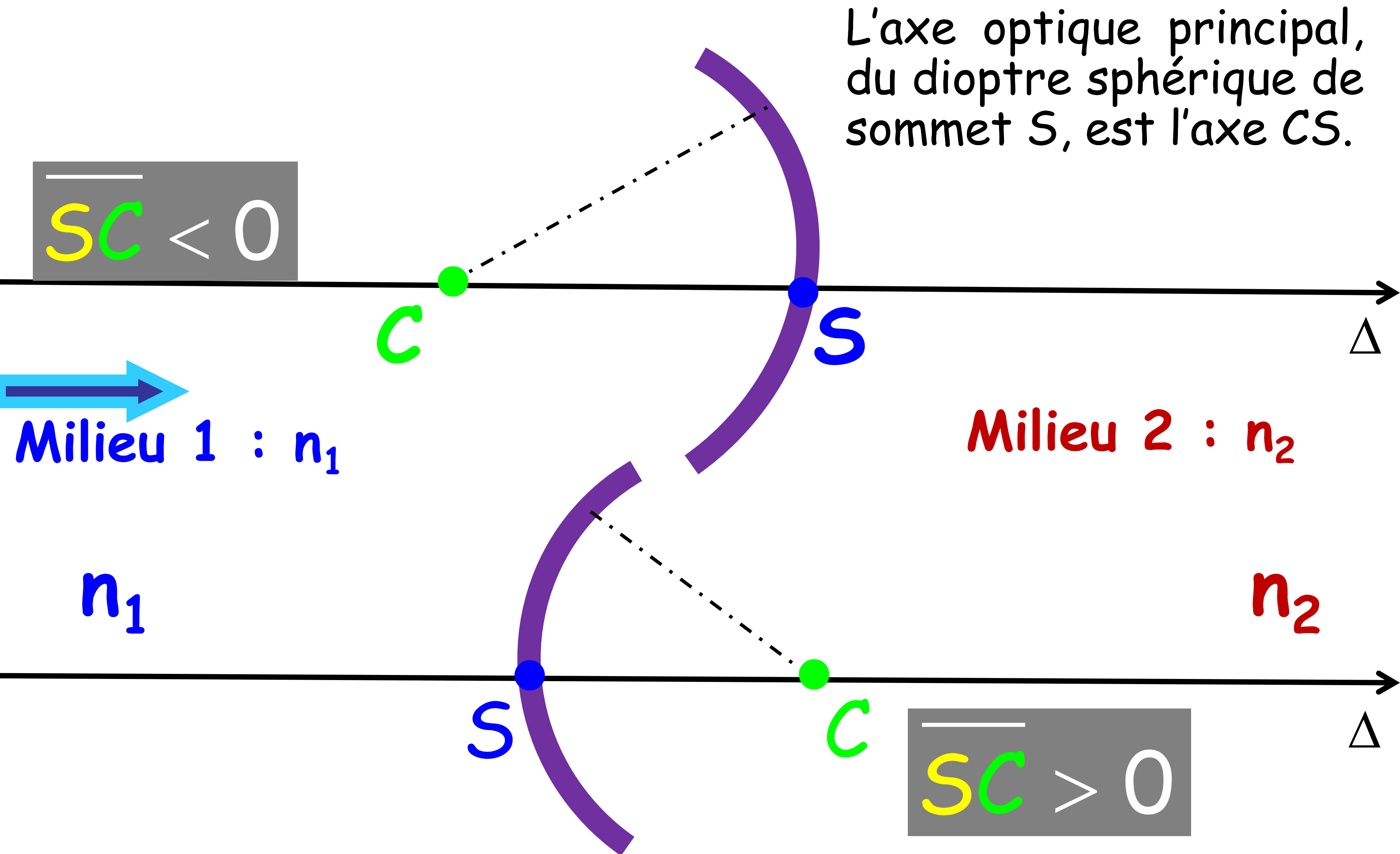
Milieu 2 d'indice de réfraction n_2



4 configurations possibles

$n_1 > n_2$ ou $n_1 < n_2$

L'axe optique principal, du dioptre sphérique de sommet S, est l'axe CS.



Relations de conjugaison

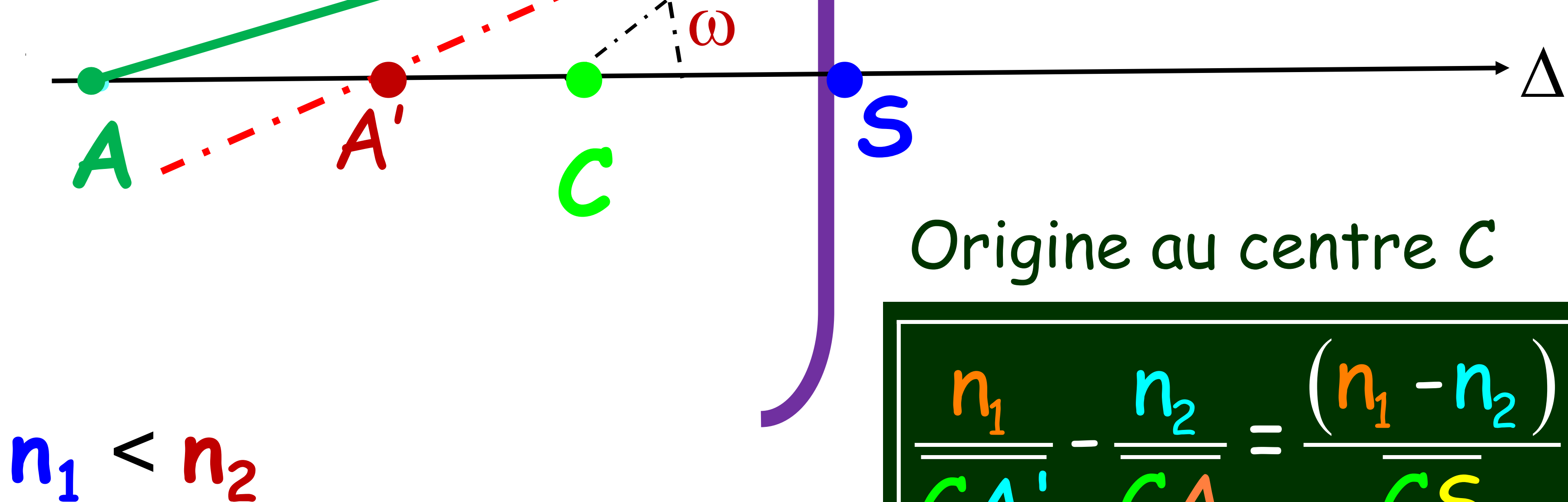
Établissons ces équations dans les conditions de l'approximation de Gauss. Autrement dit on ne considère qu'un pinceau lumineux dont le rayon moyen lui est normal, c'est-à-dire formé de rayons paraxiaux.

Origine au sommet S

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2



$n_1 < n_2$

Origine au centre C

$$\frac{n_1}{\overline{CA'}} - \frac{n_2}{\overline{CA}} = \frac{(n_1 - n_2)}{\overline{CS}}$$

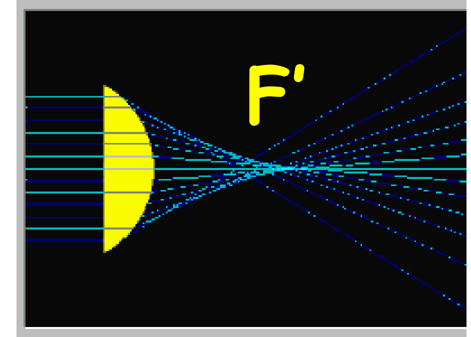
Foyers. Convergence

FOYERS, CONVERGENCE

Foyer image F' :

Si le point objet A s'éloigne à l'infini, son conjugué est le **foyer image F'** du dioptre sphérique.

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$



Si $A \to \infty$, alors $A' \to F'$, $-\left(\frac{n_2}{\overline{SF'}}\right) = \frac{(n_1 - n_2)}{R}$

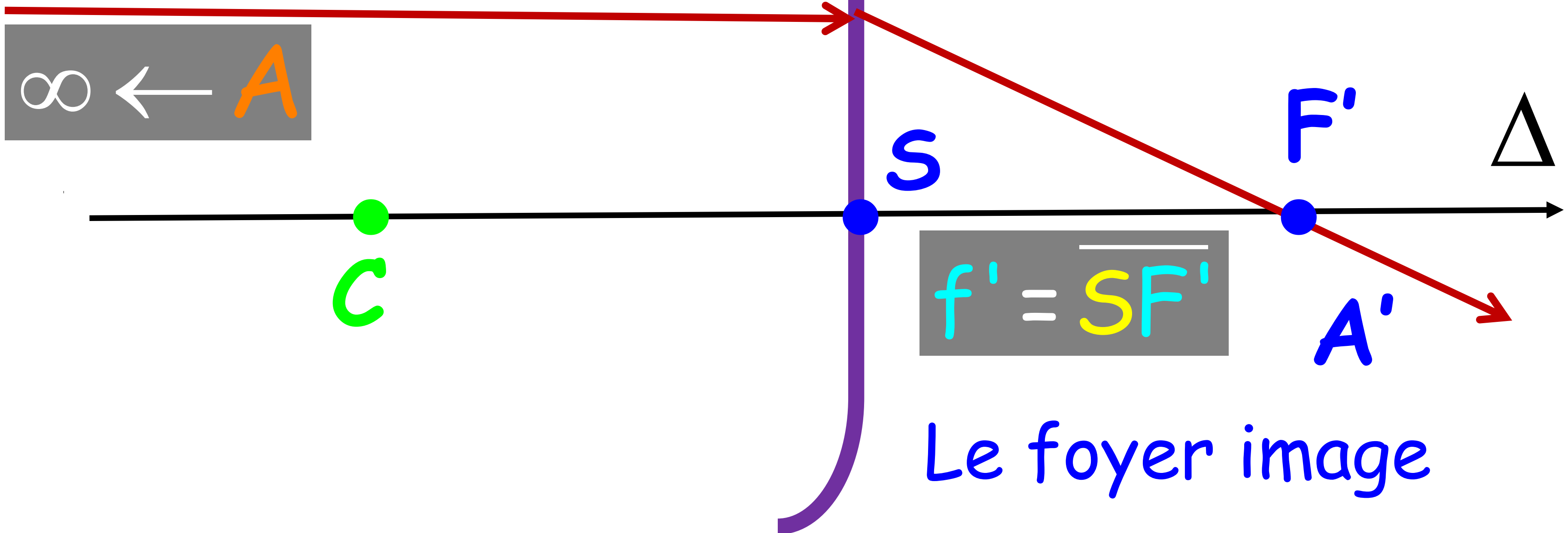
$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R.n_2}{(n_1 - n_2)}$$

La distance focale image du dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2).

$n_1 < n_2$

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2



Le point source A, situé à l'infini, est conjugué avec le foyer image F '

Foyer objet F :

Quand le point objet A est situé en F, l'image A' est à l'infini. Le point F est le foyer objet. la distance focal objet est alors :

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

$$\text{Si} \quad A \to F, \quad \text{alors} \quad A' \to \infty, \quad \left(\frac{n_1}{\overline{SF}}\right) = \frac{(n_1 - n_2)}{R}$$

$$f = \overline{SF} = \frac{R.n_1}{(n_1 - n_2)}$$

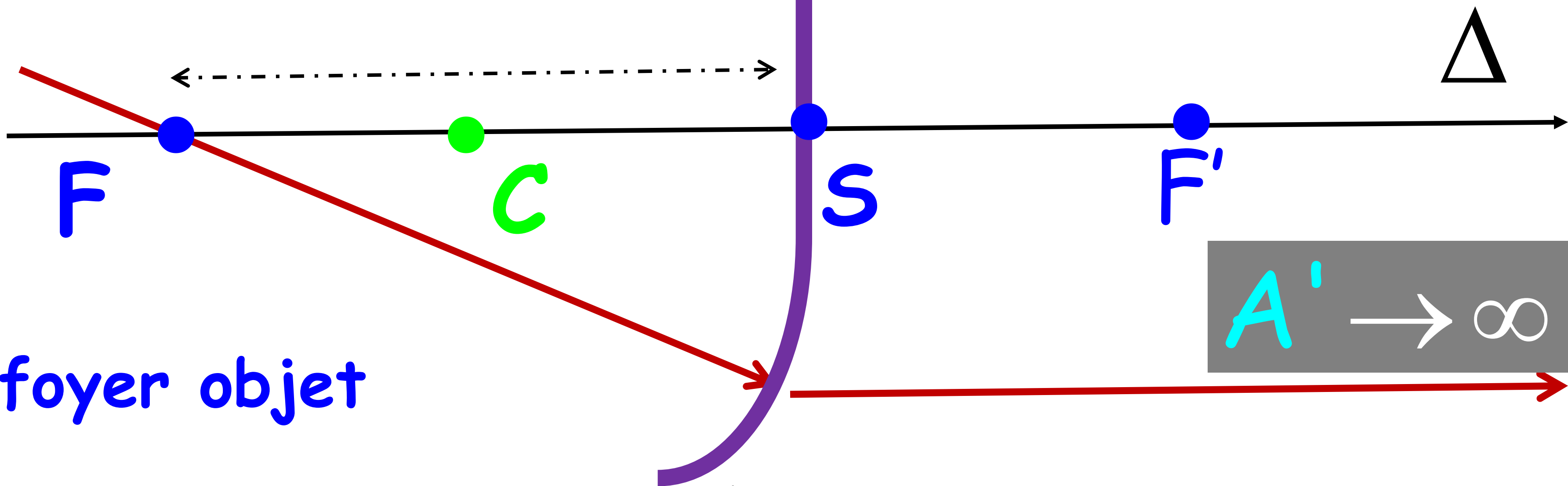
La distance focale objet du dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2).

$n_1 < n_2$

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2

$f = \overline{SF}$



Le foyer objet

Le point source **A**, situé au foyer objet **F**, est <u>conjugué</u> avec son point image **A'** rejeté à l'infini.

vergence

$$f = \overline{SF} = \frac{R.n_1}{(n_1 - n_2)}$$

$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R.n_2}{(n_1 - n_2)}$$

$$V = \frac{n_2}{\overline{SF'}} = -\frac{n_1}{\overline{SF}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

$V = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}} > 0$ alors V : convergence

$V = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}} < 0$ alors V : divergence

$$f = \overline{SF} = \frac{R.n_1}{(n_1 - n_2)}$$

$$f' = \overline{SF'} = \frac{-R.n_2}{(n_1 - n_2)}$$

SF et **SF'** sont de signes opposés. **F** et **F'** même nature, les **2 sont réels** ou les **2 virtuels**. Chaque foyer se situe dans un milieu. **F** et **F'** sont toujours de part et d'autre de **S**.

$$\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = \frac{f'}{f} = -\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Le rapport des distances focales f et f' d'un dioptre sphérique (**S**, **C**, n_1, n_2) est égal au rapport des indices changé de signe.

Milieu 1 : n_1

$n_1 < n_2$ Milieu 2 : n_2

F et F' sont réels

F C S F' Δ

Un dioptre **convergent**

Milieu 1 : n_1

Milieu 2 : n_2

Δ

F' S C F

F et F' sont virtuels

Un dioptre **divergent**

Contrairement au **miroir sphérique**, **il n'y a jamais de foyer** entre **S** et **C**, pour un dioptre sphérique (**S**, **C**, n_1, n_2). .

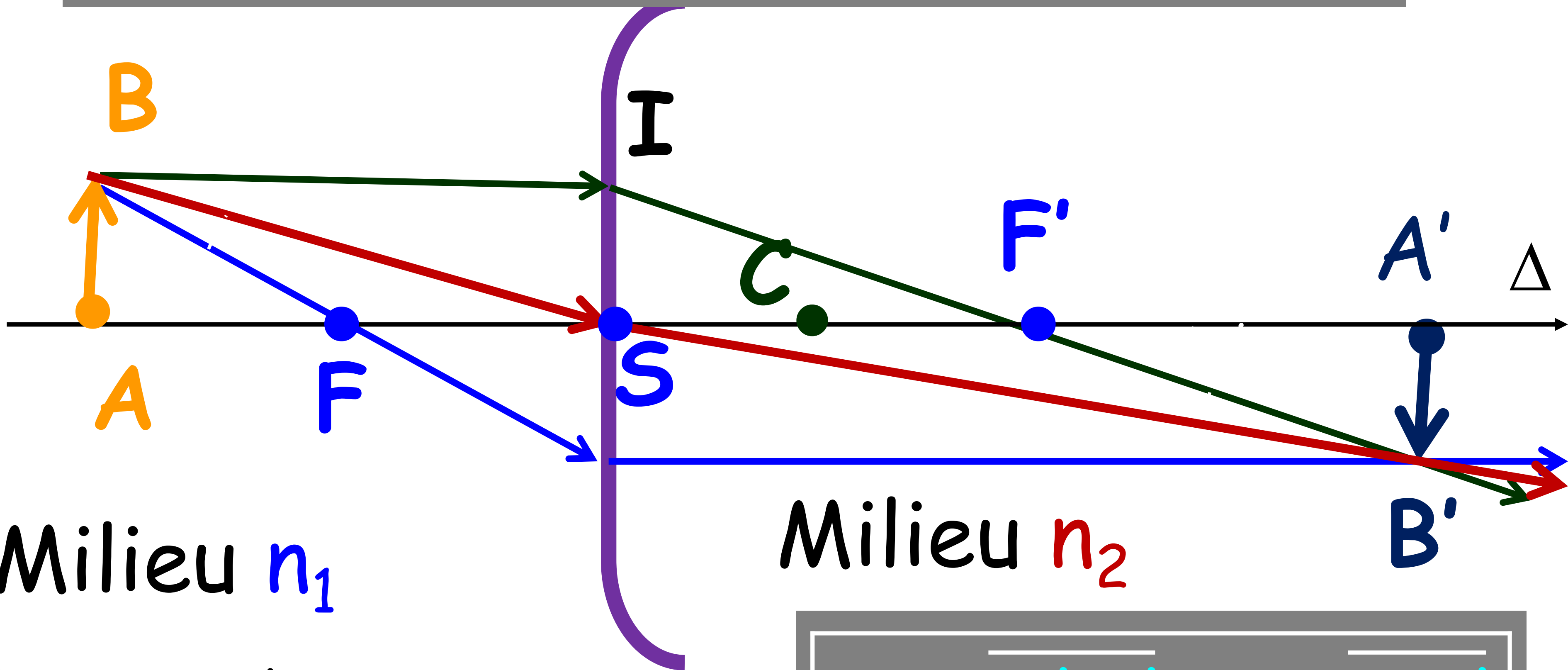
❖ Un dioptre sphérique est **convergent** si les deux **foyers F et F' sont réels** $\overline{SF'} > 0$ $V > 0$

❖ **Le centre C** d'un dioptre sphérique convergent est situé dans le milieu le **plus réfringent** (indice de réfraction le plus grand).

❖ Un dioptre sphérique est **divergent** si les deux **foyers F et F' sont virtuels** $\overline{SF'} < 0$ $V < 0$

❖ **le centre C** d'un dioptre sphérique divergent est situé dans le **milieu moins réfringent** (indice de réfraction le plus grand).

$$n_1 . i_1 = n_2 . i_2 , \quad i_1 = \frac{\overline{AB}}{\overline{SA}} , i_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SA'}} , \quad n_1 . \frac{\overline{AB}}{\overline{SA}} = n_2 . \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SA'}}$$



Le grandissement transversal d'un dioptre sphérique (S, C, n_1, n_2)

$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n_1}{n_2} \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

Lentilles



Définition : **Une lentille** est un milieu transparent limité par deux calottes sphériques, ou par une calotte sphérique et une plane.

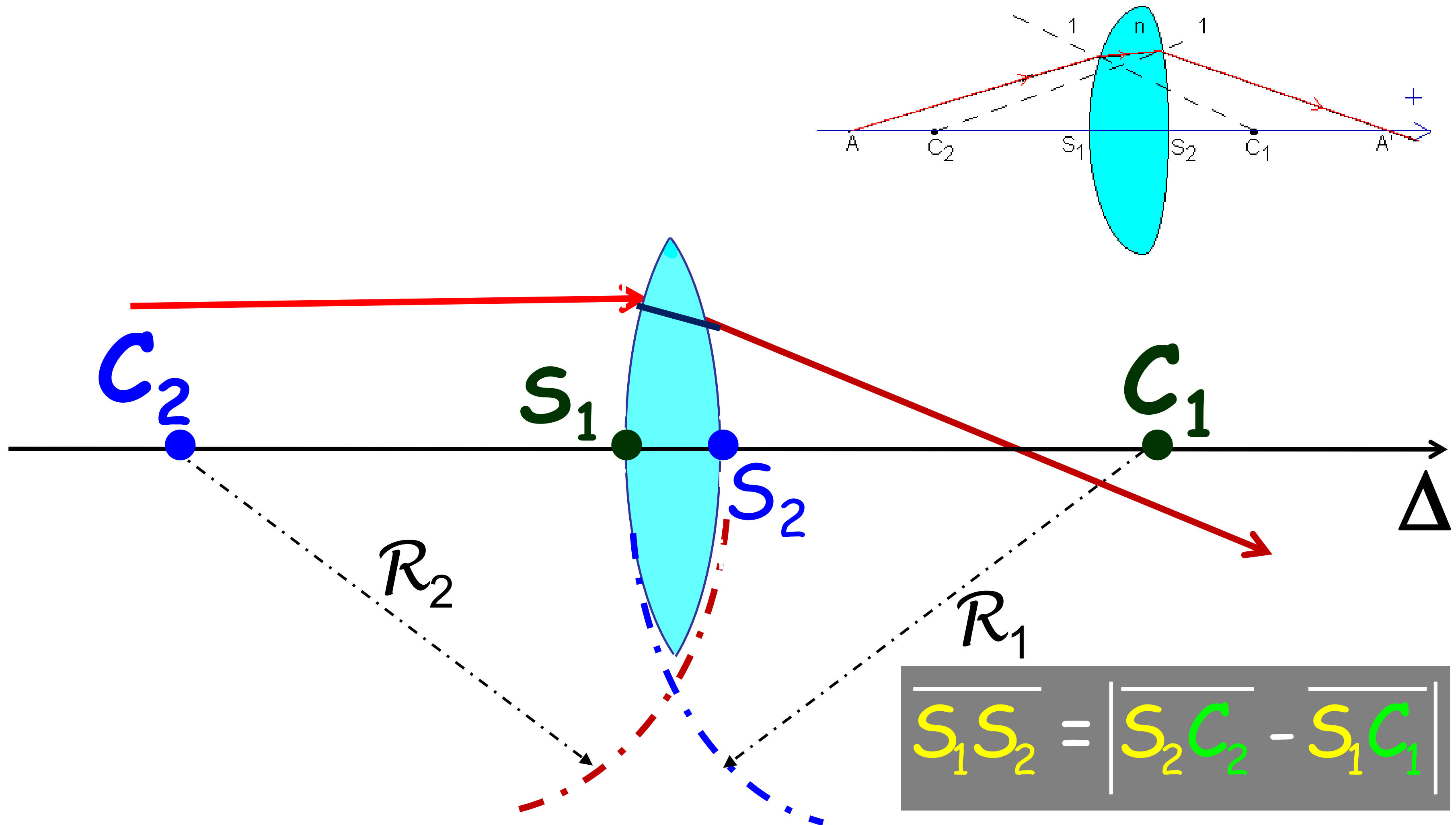
$R_1 = \overline{S_1C_1}$

$R_2 = \overline{S_2C_2}$

n

S_2 R_2 S_1 C_1 R_1 C_2 Δ

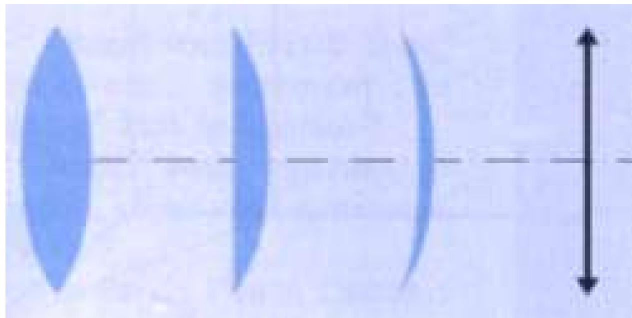
La lentille idéale : surfaces sphériques

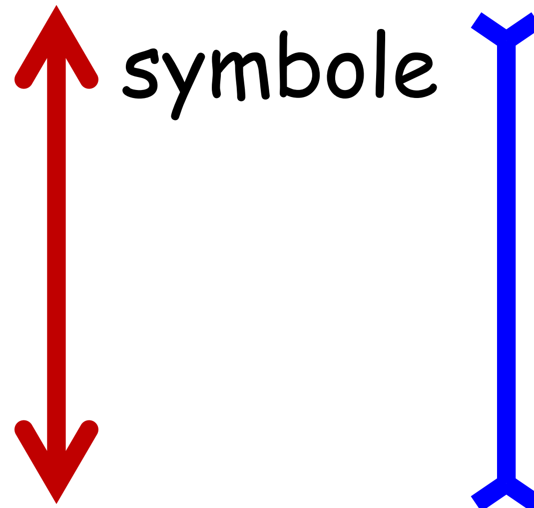


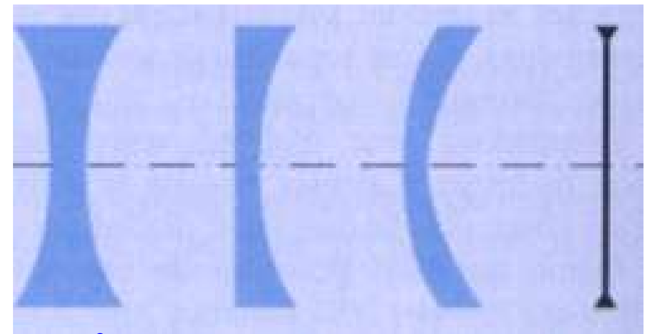
lentille mince si : $\overline{S_1S_2} \ll \overline{S_1C_1} \quad \overline{S_1S_2} \approx \overline{S_2C_2}$

Une **lentille** est dite **mince** quand son épaisseur, mesurée sur l'axe principal, est très petite comparée aux rayons de courbure.

Par suite, nous représenterons **schématiquement** les lentilles à **bords minces** et à **bords épais**, respectivement **Convergente et Divergente**.







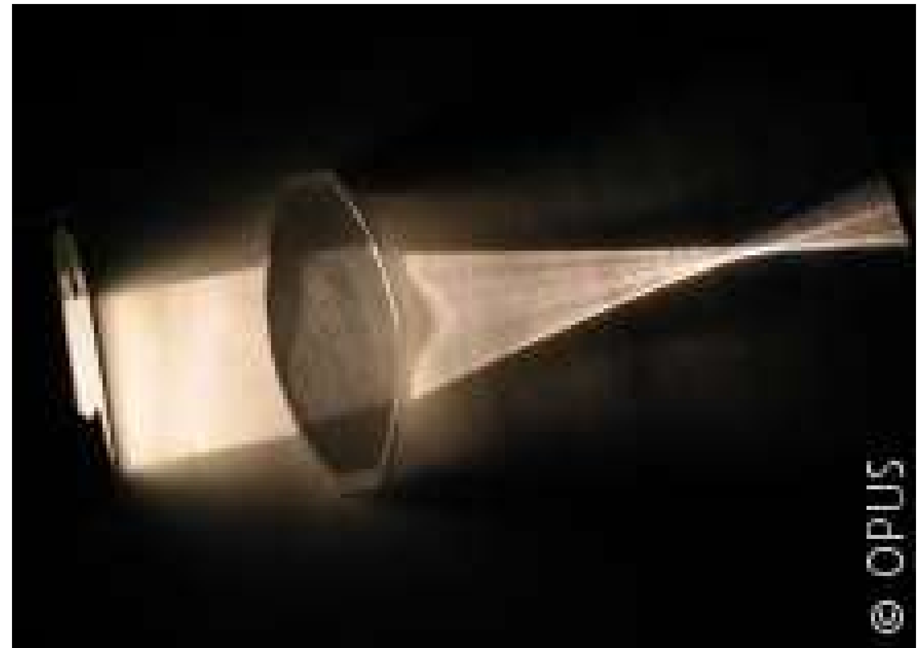
convergente

divergente

Lentille convergente :

Plans focaux : Toute lentille mince **convergente**, quelle que soit sa forme, possède **deux foyers principaux réels**, **symétriques** par rapport au **centre optique O**.

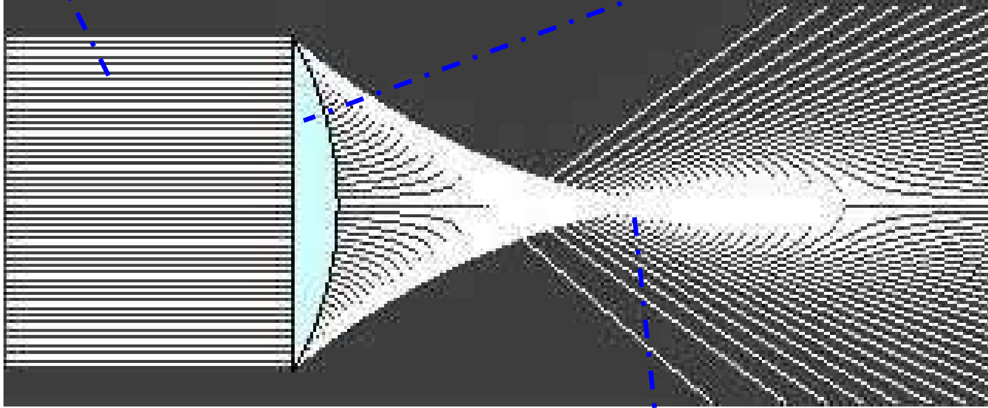
- **Le premier** est le **foyer principal objet** et **le second** est le **foyer principal image**.



$$\overline{OF'} = f' = -f = -\overline{OF}$$

Lentille convergente

Lumière parallèle



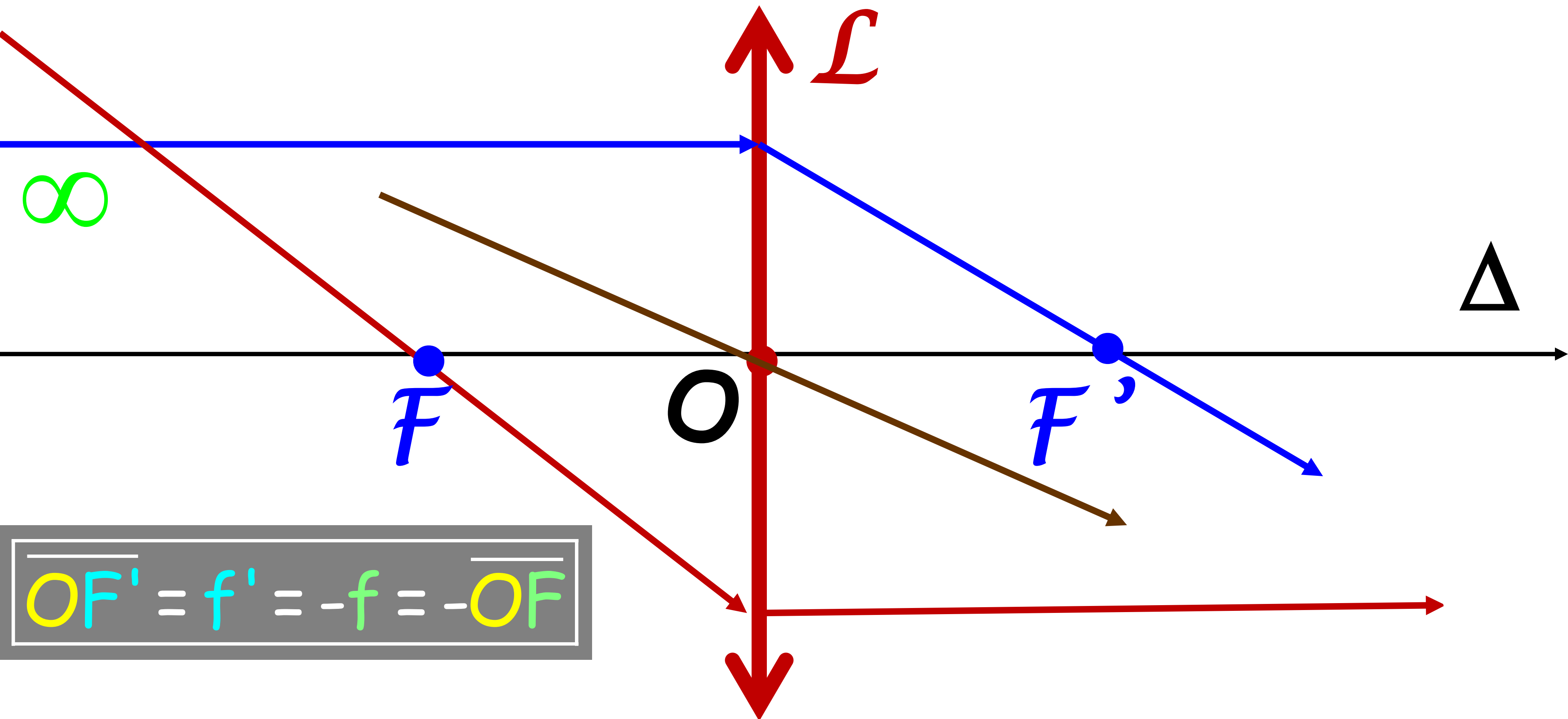


Foyer principal image

On appelle distance focale d'une lentille mince, la <u>mesure algébrique</u> :

$$\overline{OF'} = f' = -f = -\overline{OF}$$

L'infini ∞ et le **foyer principal image F'** sont <u>conjugués</u> par la **lentille** $\mathcal{L}$



le **foyer principal objet F** et **L'infini** sont <u>conjugués</u> par la **lentille** $\mathcal{L}$

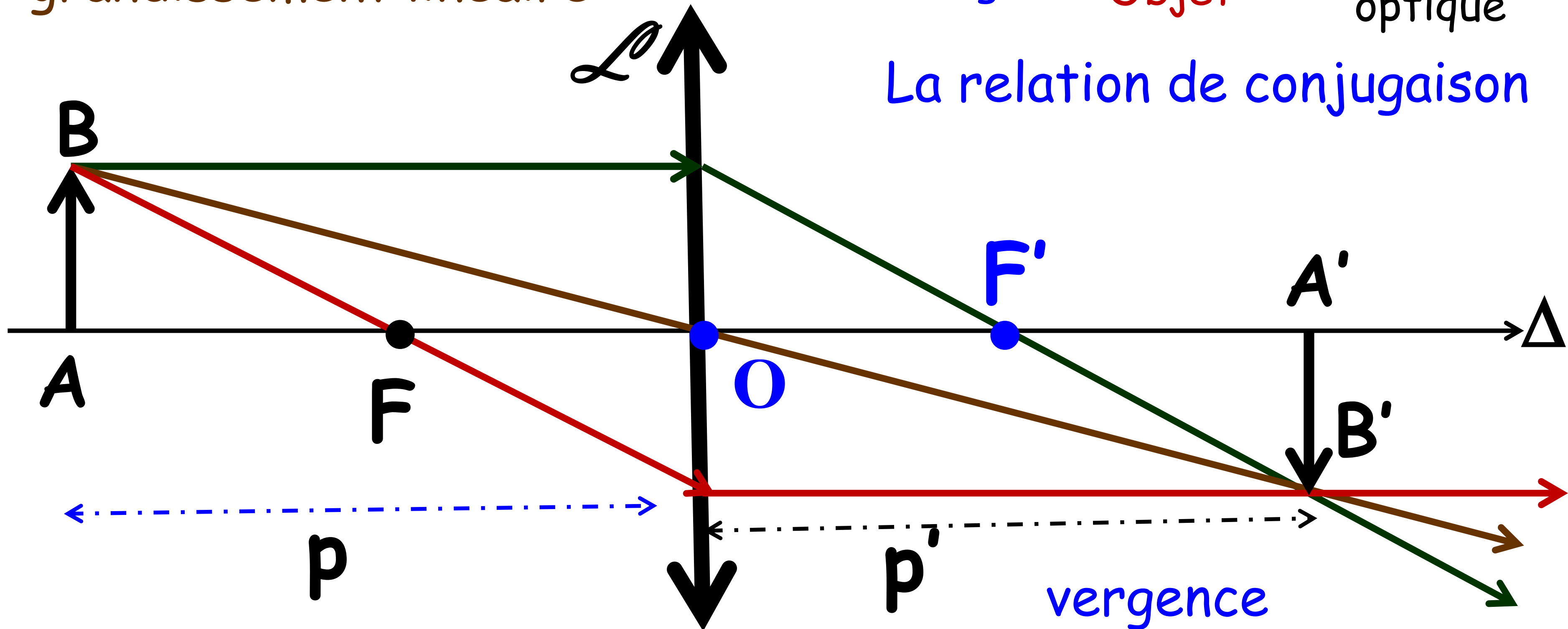
$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \Rightarrow \gamma_t = \frac{p'}{p}$$

grandissement linéaire

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

Image — Objet = Instrument optique

La relation de conjugaison



vergence

$$v = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} \quad \text{(dioptries)}$$

La relation de conjugaison du point source A et son image A', fournie par une lentille convergente $\mathscr{L}$ de distance focale **f'**.

Lentille divergente :

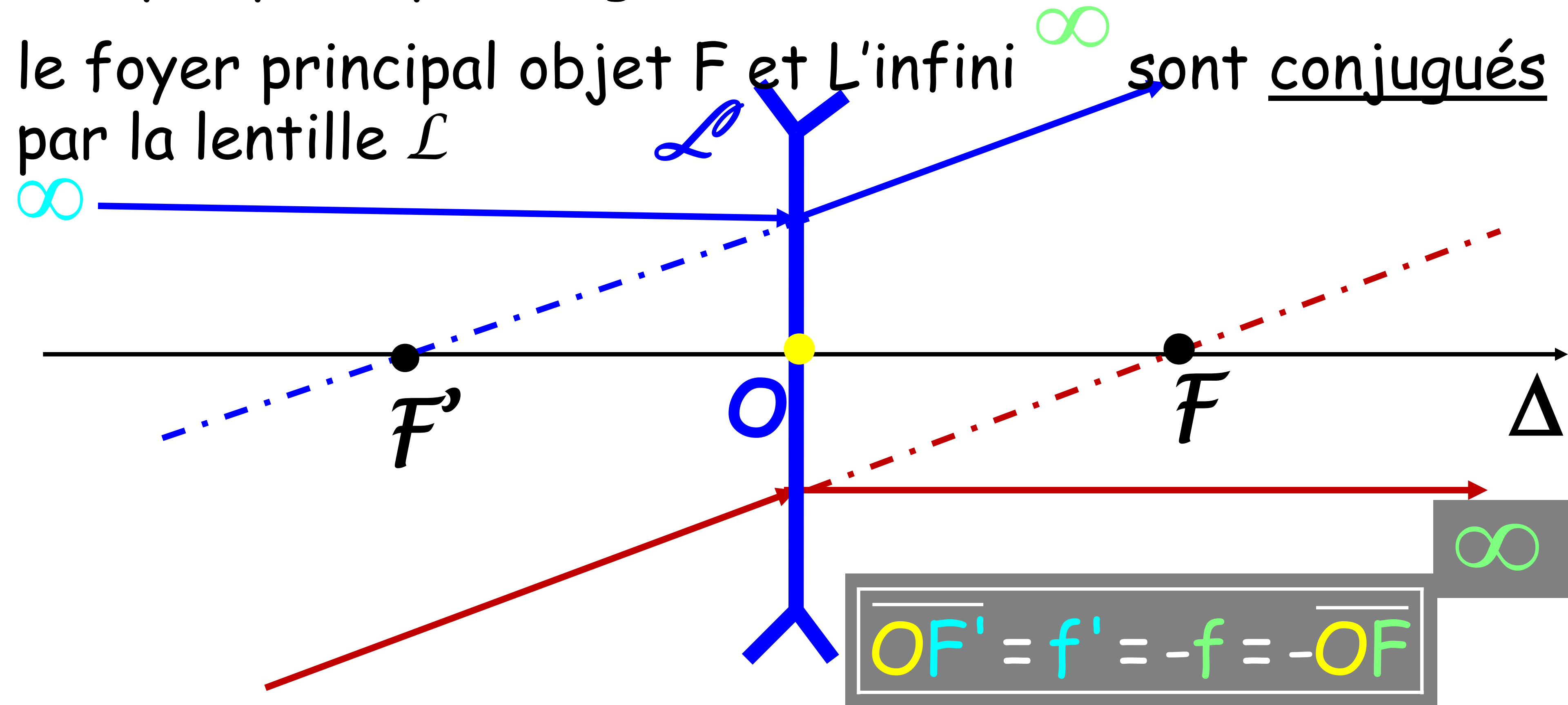
<u>**Plans focaux**</u> : Toute lentille **divergente**, quelle que soit sa forme, possède **deux foyers principaux virtuels**, **symétriques** par rapport au **centre optique** O.

Le premier est le **foyer principal objet** et le **second est le foyer principal image**. Ce dernier est **l'image** d'un **point situé à l'infini**.



L'infini et le foyer principal image F' sont <u>conjugués</u> par la lentille divergente $\mathcal{L}$.

Autrement dit, tout rayon parallèle à l'axe principal de la lentille émerge de celle-ci comme s'il venait du foyer principal image F'.

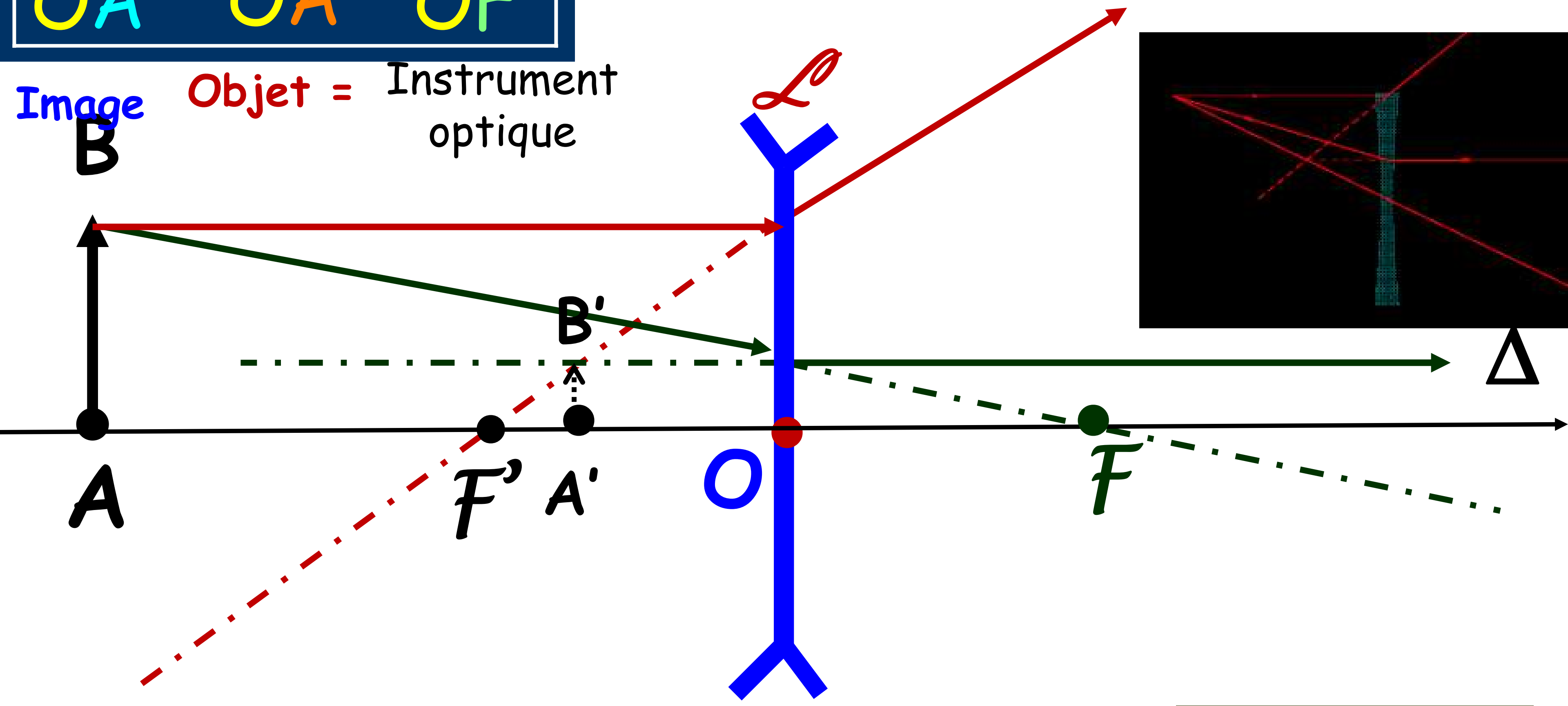


$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

La relation de conjugaison

AB : objet réel,

A'B' : image

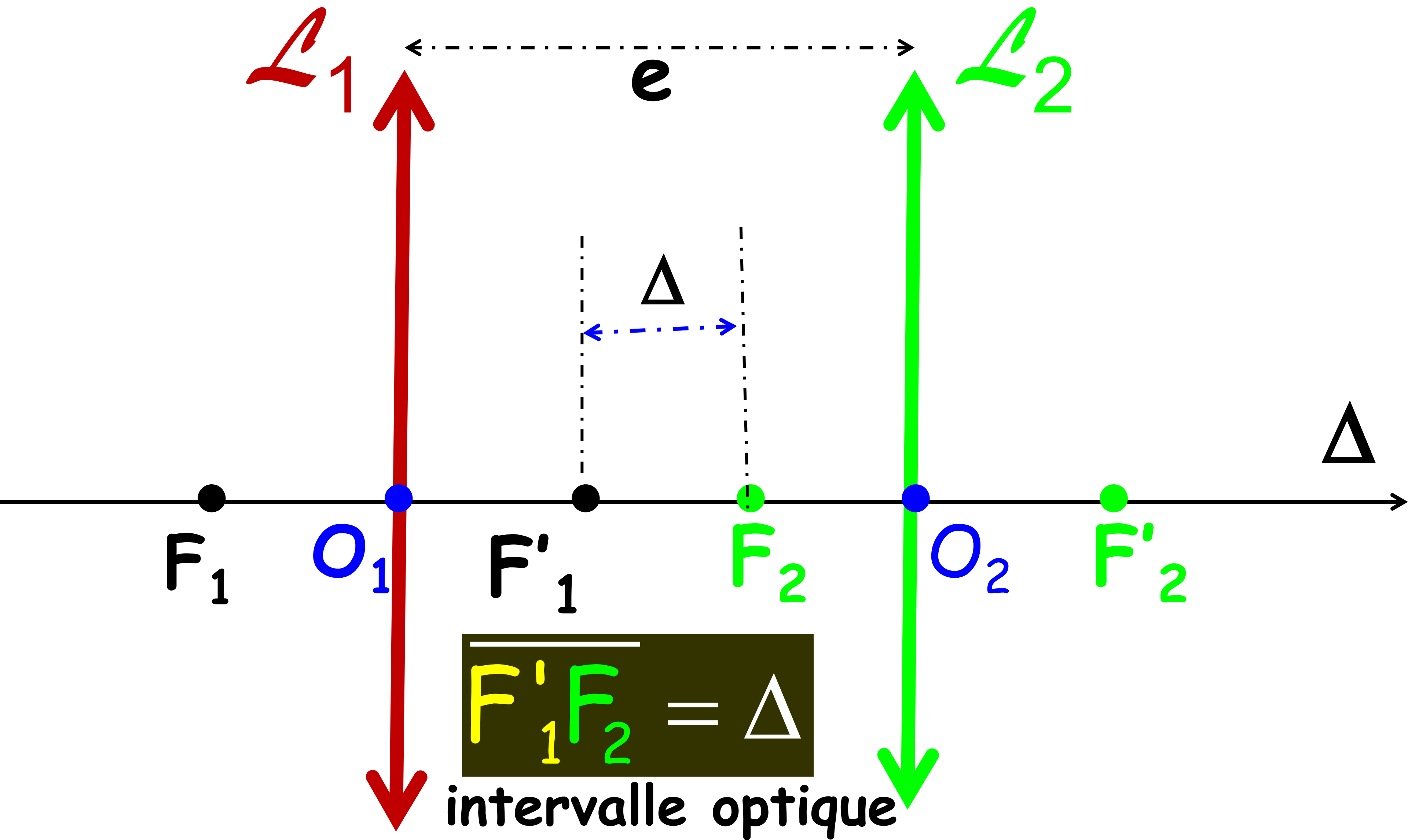


La vergence, exprimée dioptrie, d'une lentille mince est **l'inverse** de sa **distance focale f '**.

$$V_{(\delta)} = \frac{1}{f'_{(m)}}$$

Association de Lentilles

Association de lentilles



$$V_{Doublet} = V_1 + V_2 - e.V_1.V_2$$

Un doublet

Vergence d'un doublet:
Formule de Gullstrand

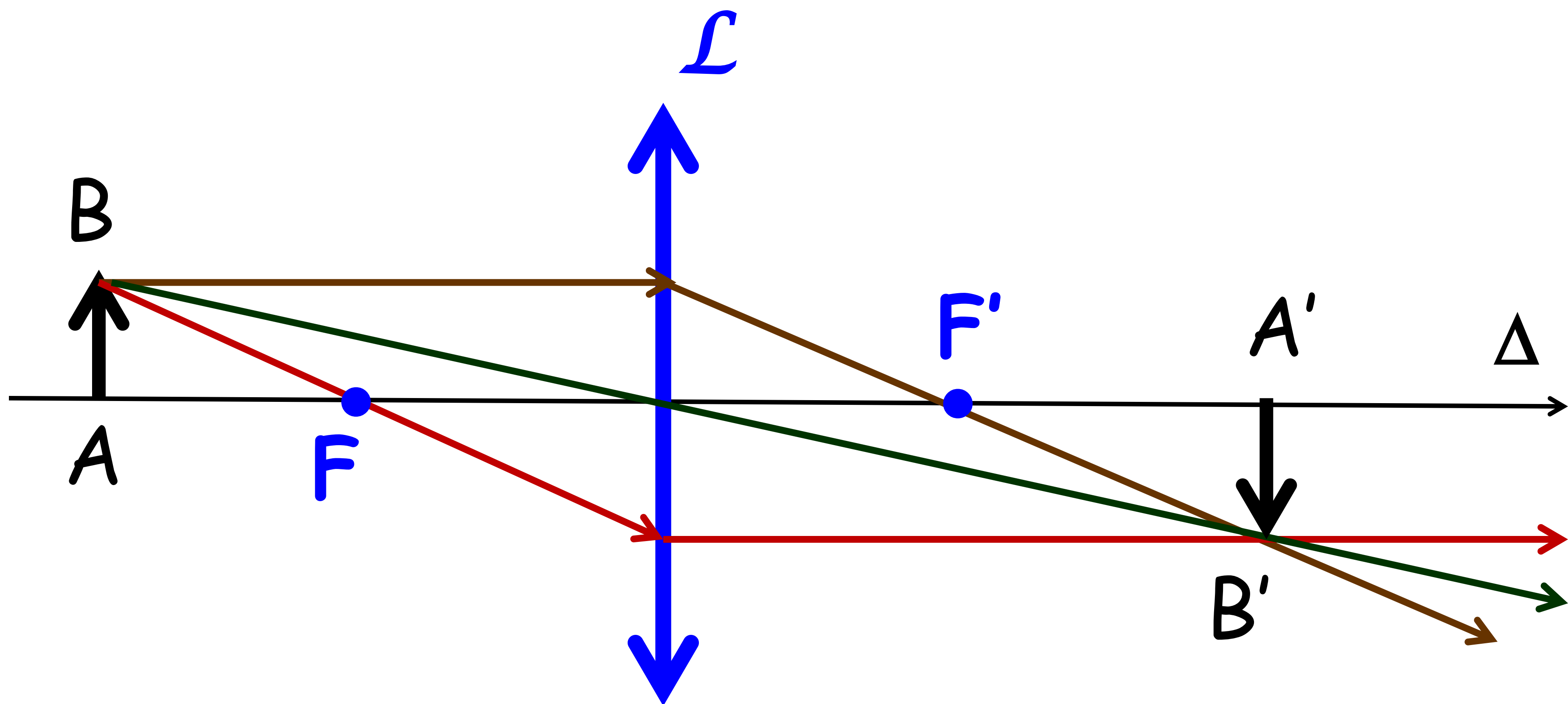
$$V_{Doublet} = V_1 + V_2 - e.V_1.V_2$$

$$\frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{e}{f'_1.f'_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow f' = \frac{f'_1.f'_2}{f'_1 + f'_2 - e}$$

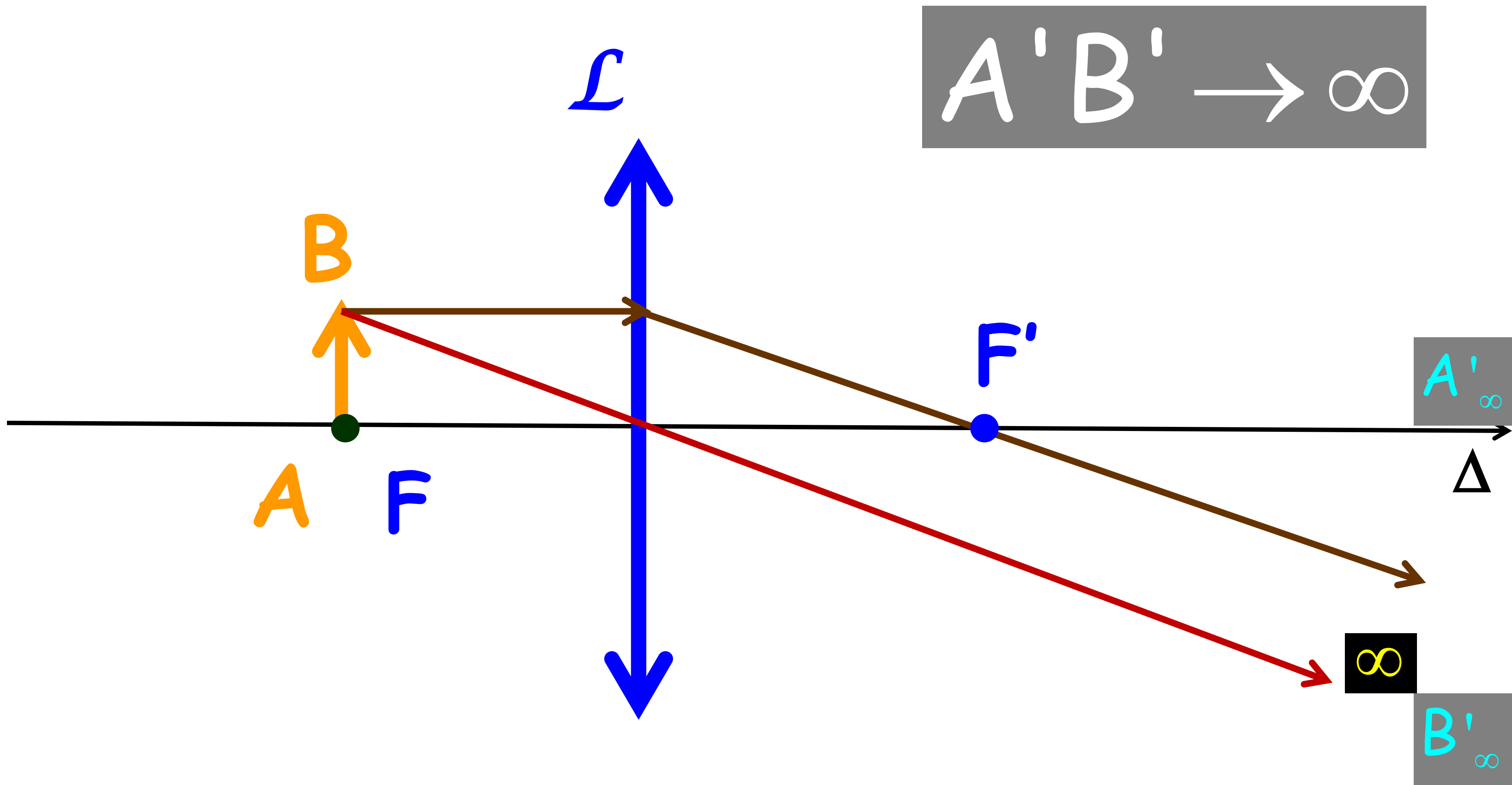
La distance focale d'une lentille équivalente $\mathcal{L}$

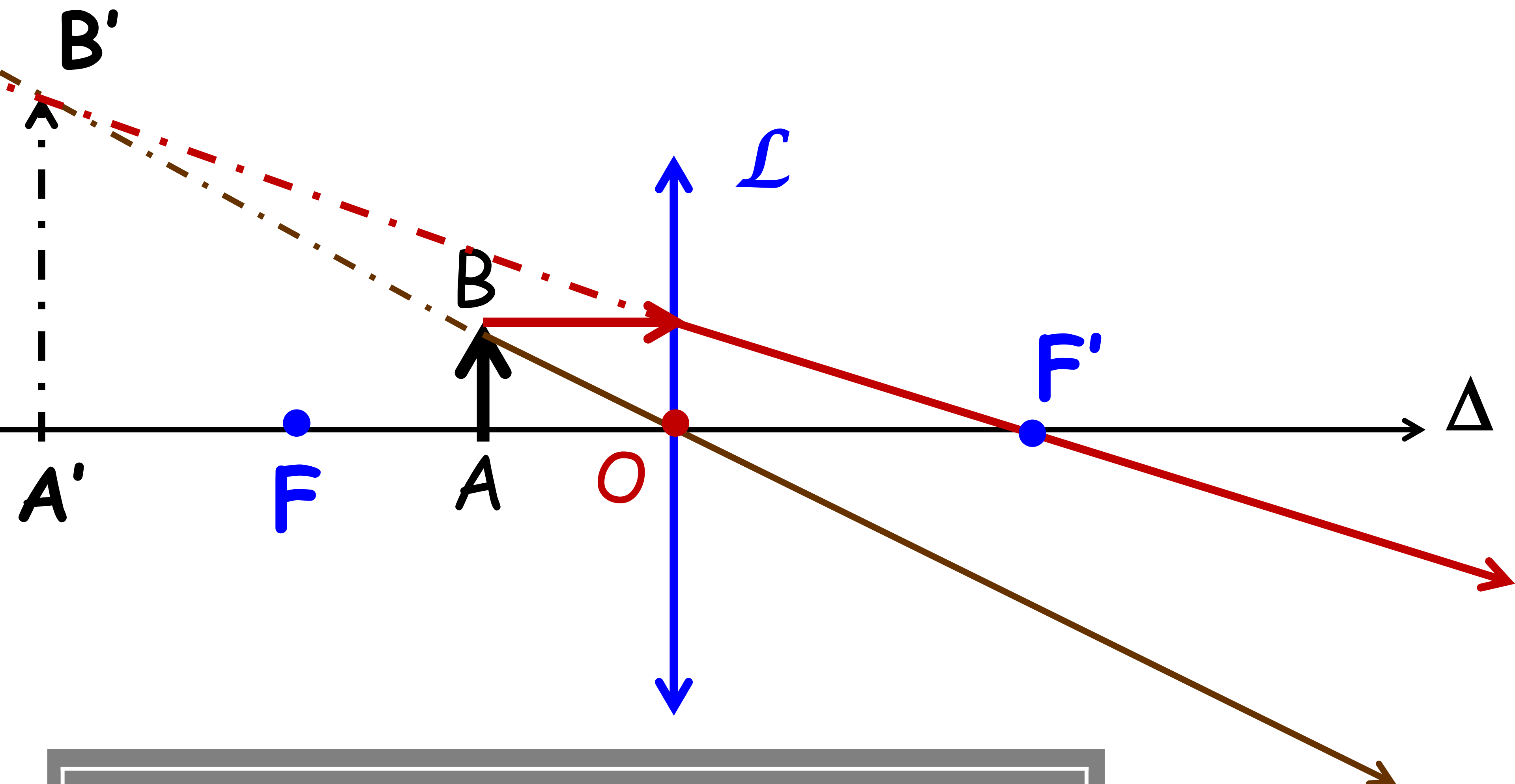
Dans le cas où les 2 lentilles sont accolées, e = 0, alors la vergence :

$$V = V_1 + V_2$$



$-\infty < A < F$ alors $F' < A' < +\infty$


A'B' → ∞
ℒ
B
F'
A'∞
Δ
A
F
∞
B'∞



F < A < O alors $-\infty < A' < F$

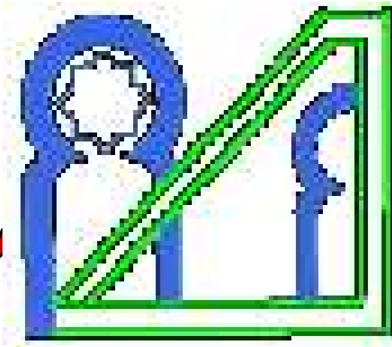
Fin...







Les instruments d'optique



L'ŒIL & SES DÉFAUTS

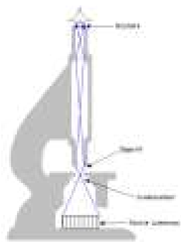
SVT session d'automne 2013

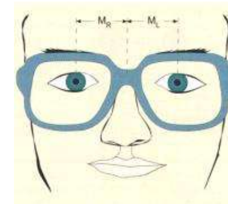
Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

Généralités sur les instruments d'optiques :

Classification : Les instruments d'optiques sont de types différents très variés.

1. Les plus fréquemment utilisés sont des appareils destinés à aider l'œil dans **l'observation des objets**.
2. Analyser la lumière émise ou absorbée (**spectrographe**).

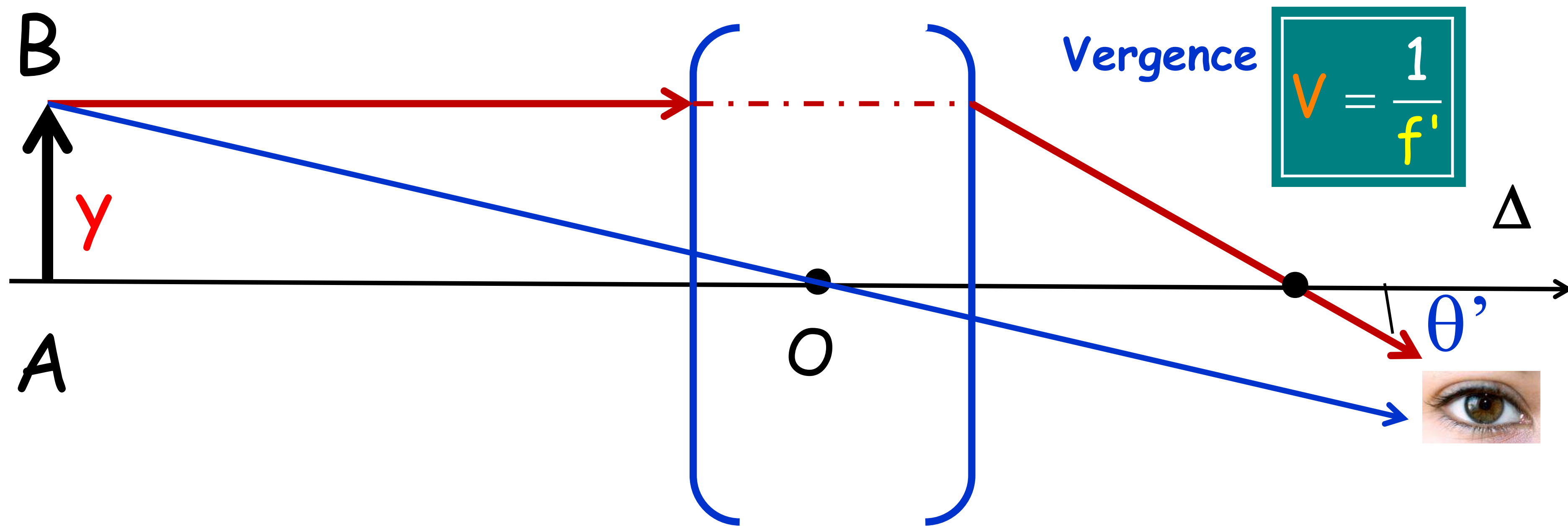





Un instrument d'optique est caractérisé par les paramètres suivants :

Grandissements $\gamma_{transversal}$ et γ_{axial} : Facteurs qui caractérisent les **grandeurs de l'image** obtenue à l'aide de cet **instrument d'optique** comme le **microscope** et l'objectif **photographique**.

$$\gamma_{transversal} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad \text{et} \quad \gamma_{axial} = \frac{d\overline{OA'}}{d\overline{OA}}$$



Soit θ' le **diamètre apparent** de l'image. θ' est l'angle sous lequel l'observateur voit à travers l'instrument une dimension **y** déterminée de l'objet. Ce diamètre est proportionnel à la grandeur **y** de la dimension correspondante de l'objet.

$$\theta' = \frac{y}{f'}$$

Image 'taille angulaire'

Objet 'taille linéaire'

Instrument 'distance focale'

Puissance P : Facteur qui caractérise uniquement les instruments destinés à la vision d'objets rapprochés comme la **loupe** et **le microscope**.

$$P(Dioptries) = \frac{\theta'(rd)}{y(m)}$$

Il est à remarquer que θ' peut être exprimer en fonction de la **vergence V** du système optique :

$$\theta' = y.V$$

$$P = V$$

La **puissance** est égale à la **vergence** de l'instrument d'optique.

B

y

θ

A'

A

O

θ'

y'

d

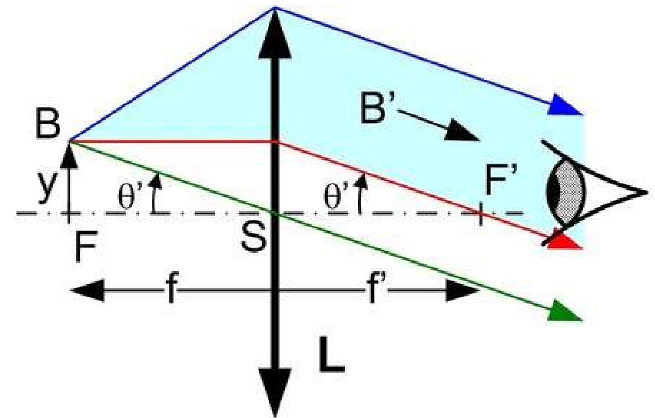
d'

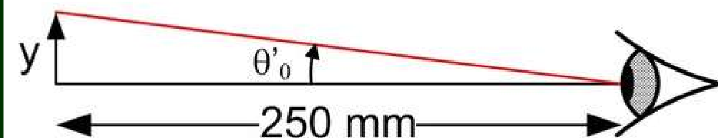
B'

Grossissement G : Pour les <u>objets rapprochés</u>, on utilise les instruments d'optiques comme la loupe et le microscope. Le <u>**grossissement**</u> est défini par l'expression suivante :

$$\begin{cases} \theta = \dfrac{y}{d} \\ \theta' = \dfrac{y'}{d'} \end{cases}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \geq 1$$





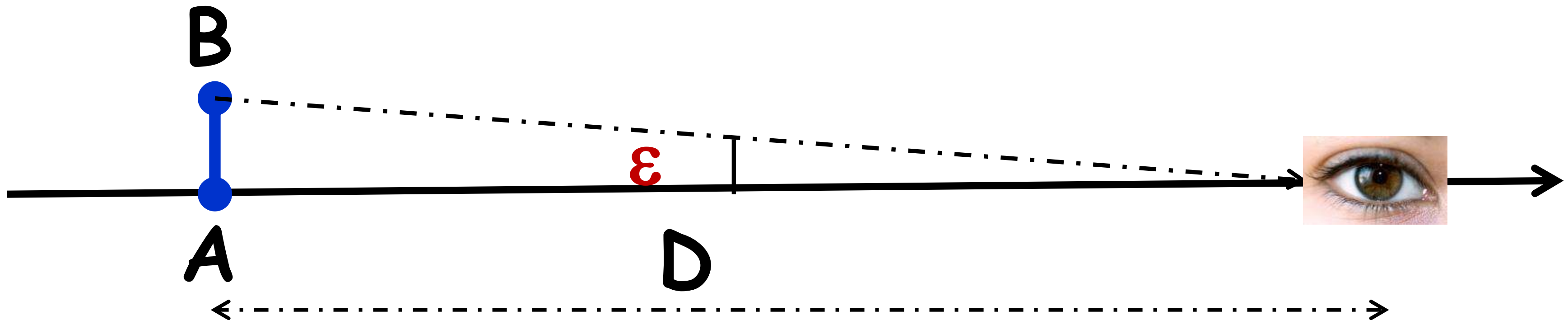
$$\theta \approx \frac{y}{d} \quad et \quad \theta' \approx \frac{y'}{d'}$$

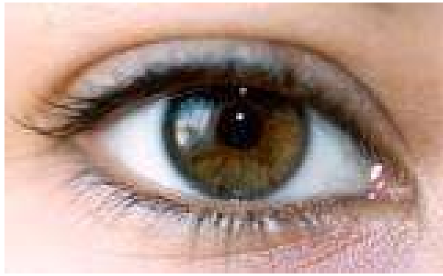
$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{y}.d = P.d = V.d$$

où la **vergence V** est égale à la **Puissance P**, avec **d** est la **distance à l'objet** et **d'** **la distance à son image** .

Pouvoir séparateur : est un paramètre qui se rapporte à la limite de perception des détails : tg(ε) = AB/D = ε_{rd}

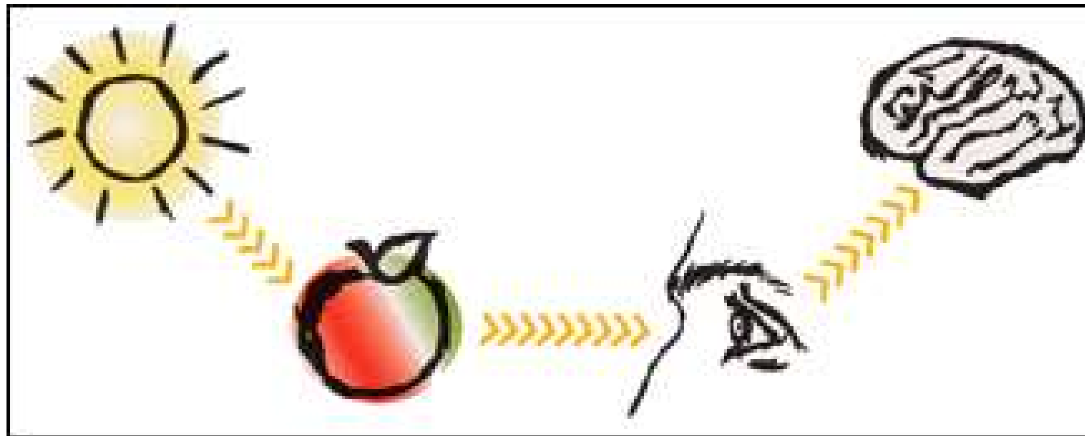
C'est souvent la **qualité** la plus importante pour un instrument d'optique.





L'œil



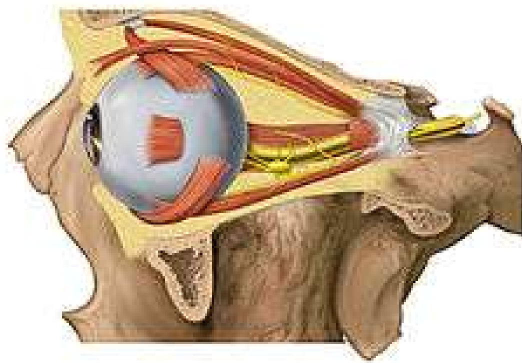




Description :

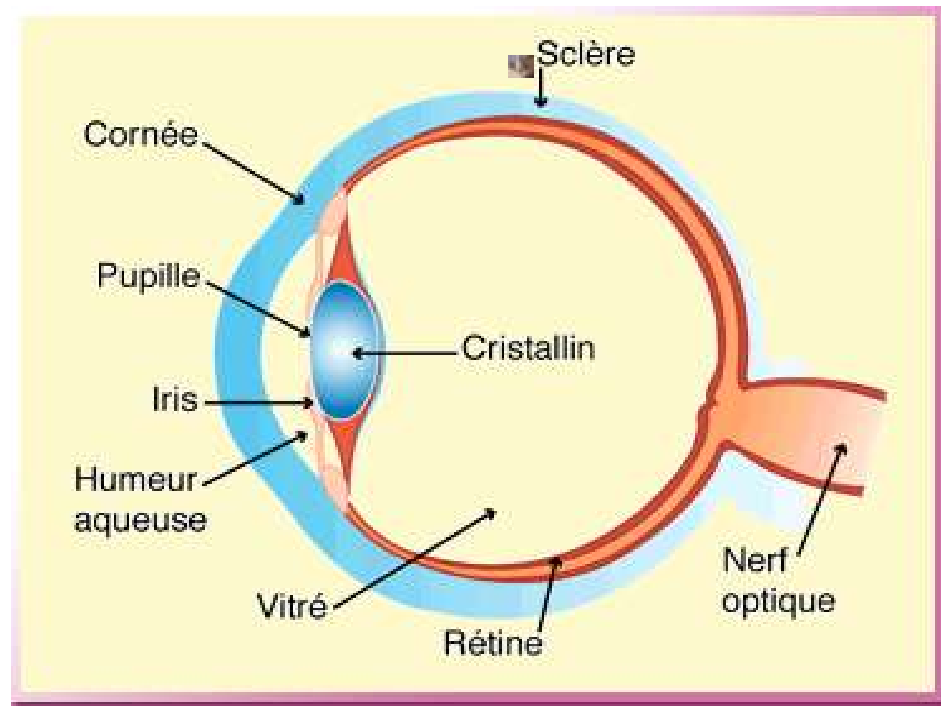
L'œil est l'organe de la **vision**. Il sert à observer directement des objets ou bien à examiner les images formées par des systèmes d'optiques. Son rôle est fondamental dans l'étude de l'optique.

L'œil est un **globe de 8 grammes**, de **25 mm** environ de **diamètre**, recouverte d'une enveloppe blanche, la **sclérotique**, membrane d'épaisseur voisine de **2 mm**, dont la partie antérieure ou **cornée**, bombée (8mm de rayon), est transparente, pour laisser passer la lumière.





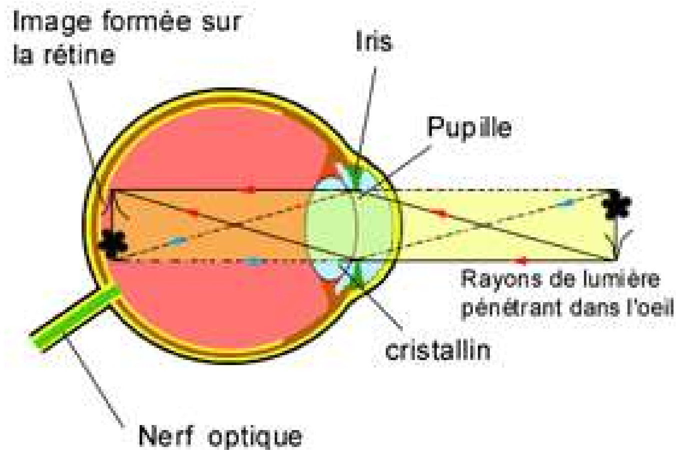
- Le **cristallin** est une lentille qui converge la lumière sur le fond de l'œil qui est la **rétine**.
- La couleur des yeux est assurée par **l'iris**, un diaphragme devant le **cristallin**, qui commande l'ouverture de **la pupille** a un diamètre variable de 2 à 8 mm, selon <u>l'âge de la personne.</u>

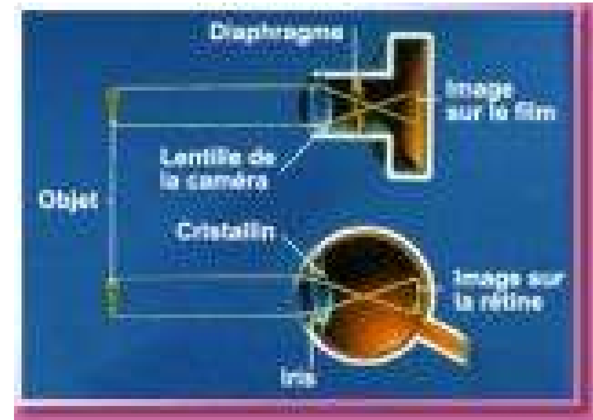


De point de vue optique, **l'œil** fonctionne comme un **appareil photographique**. L'image formée est inversée pour les deux.

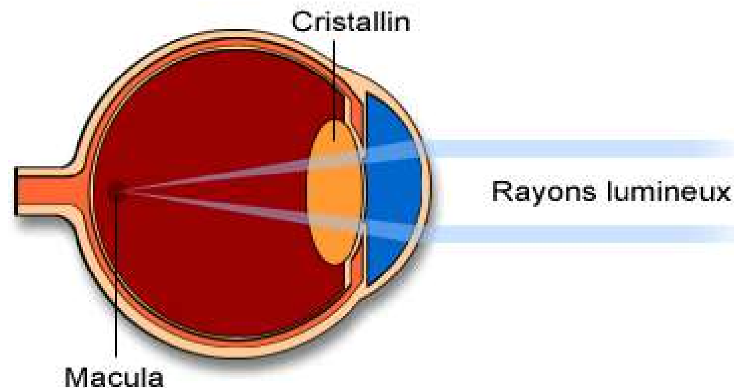
$\mathcal{L}$

Δ





Le fond de l'œil est tapissé par la **rétine R**, **écran** sur lequel se forme **l'image**. La rétine est composée de diverses couches de faibles épaisseurs (10 à 40 µm). Une couche est constituée de **deux sortes de cellules**, de formes différentes, **les cônes** ayant un diamètre de 4mm, et les **bâtonnets**. La rétine est l'épanouissement du **nerf optique**, dont les filaments aboutissent à ces cellules.

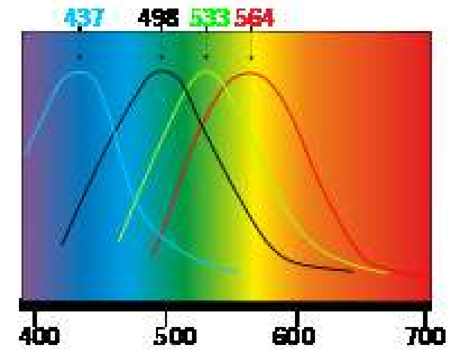


La répartition de ces cellules n'est pas régulière : une légère dépression, la **Fovea centralis**, de **0,3 mm** de diamètre, ne comprend que des **cônes** et se place au centre de la **tache jaune T**(diamètre 2mm).

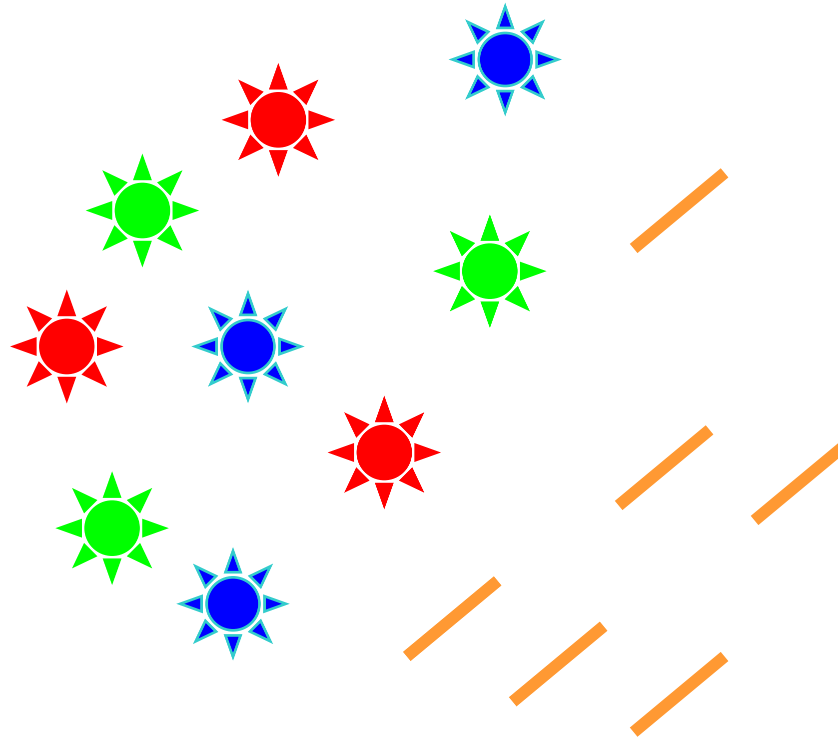
En fait, la sensibilité de la rétine pour la vision diurne est limitée à cette **tache T** (riche en **cônes**), légèrement écartée de l'axe de l'œil.

En revanche, **la sensibilité** de la rétine pour la vision nocturne est limitée à la région riche en **bâtonnets**.

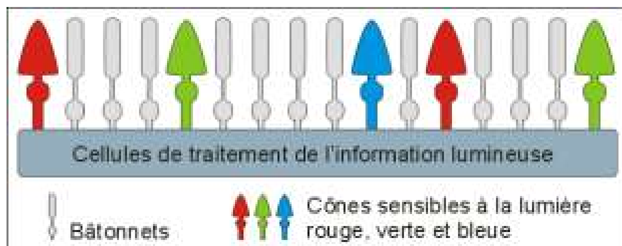
Les bâtonnets assurent la vision quand la lumière diminue d'intensité.



cônes



bâtonnets



Comment l'œil perçoit les couleurs ?

- **Les daltoniens** n'arrivent pas à faire une **association de couleurs**. Donc ils n'aperçoivent pas une ou deux des couleurs principales : **confusion de couleurs**.
- 8% de la population mondiale sont des **daltoniens**, dont la majorité sont des garçons.
- Les mamans qui transmettent ce défaut visuel aux garçons.
- **Les deux yeux** sont écartés de 7 cm, ce qui fait qu'ils ne voient pas la même chose. **D'où la notion du perspective**



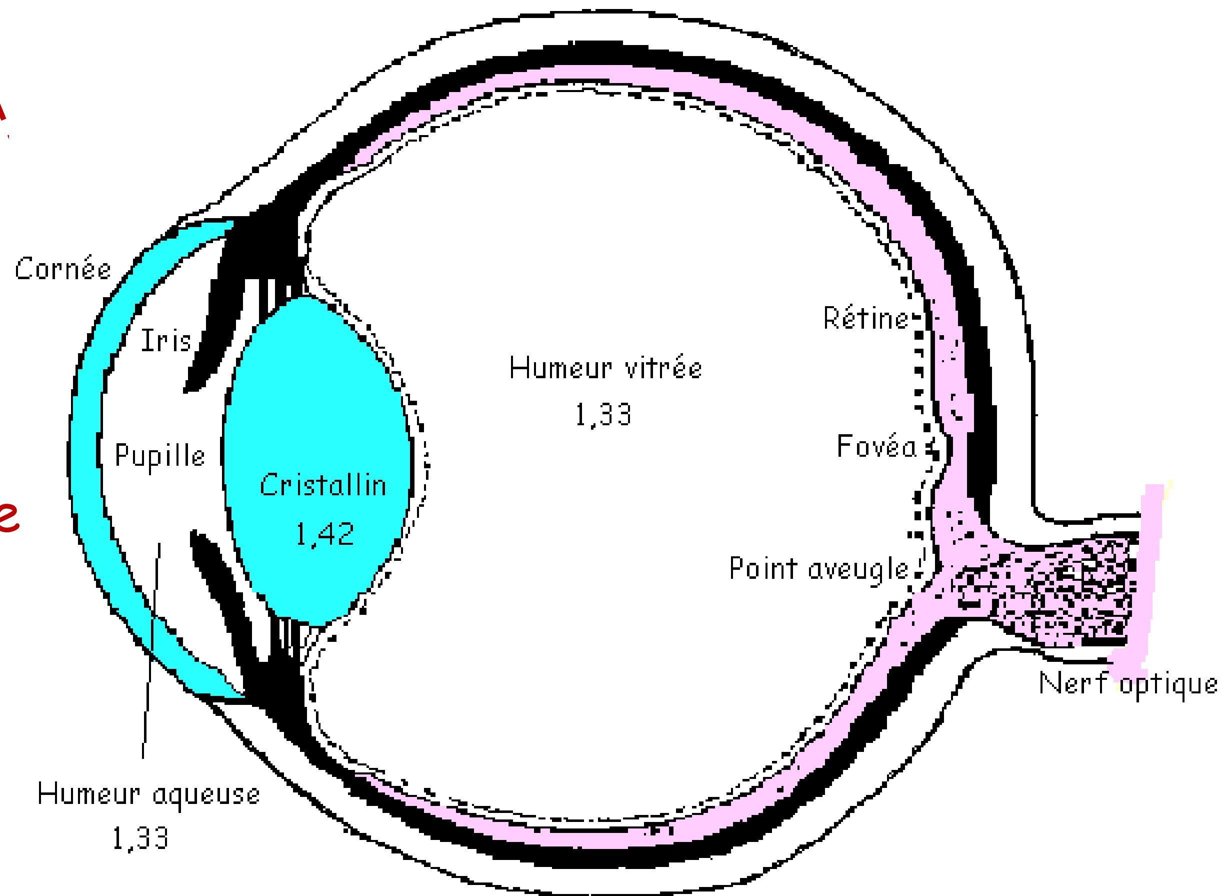
7cm

Le **cristallin** est une sorte de **lentille**, non homogène, épaisse de 4 mm environ, formée de **couches superposées** **capables de glisser les unes sur les autres**. Son **indice de réfraction** croît de **1,36** sur les bords à **1,42** sur l'axe. Sa distance focal **f'** est donc **variable**.

Les rayons de courbure sont respectivement **10mm** pour la face antérieure et **6 mm** seulement pour la face postérieure. Il est à mentionner que le **cristallin** possède un diamètre d'environ **10 mm**.

4 mm & n=1,336

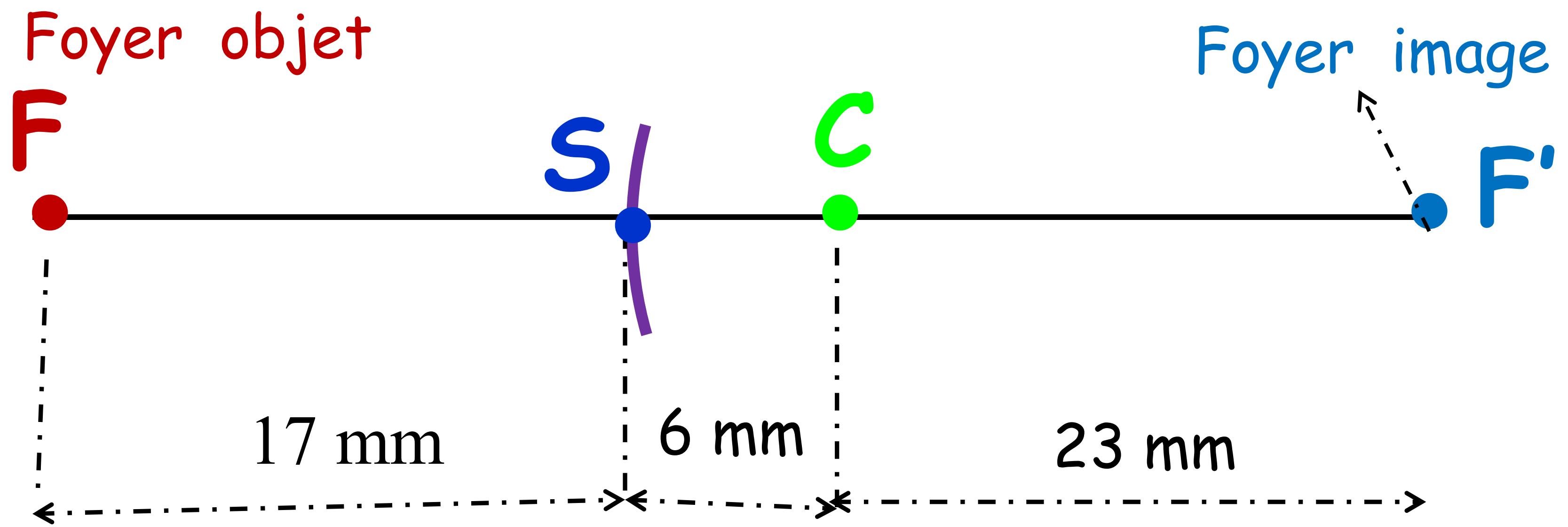
Chambre antérieure



Taille de l'oeil normal : 25 mm

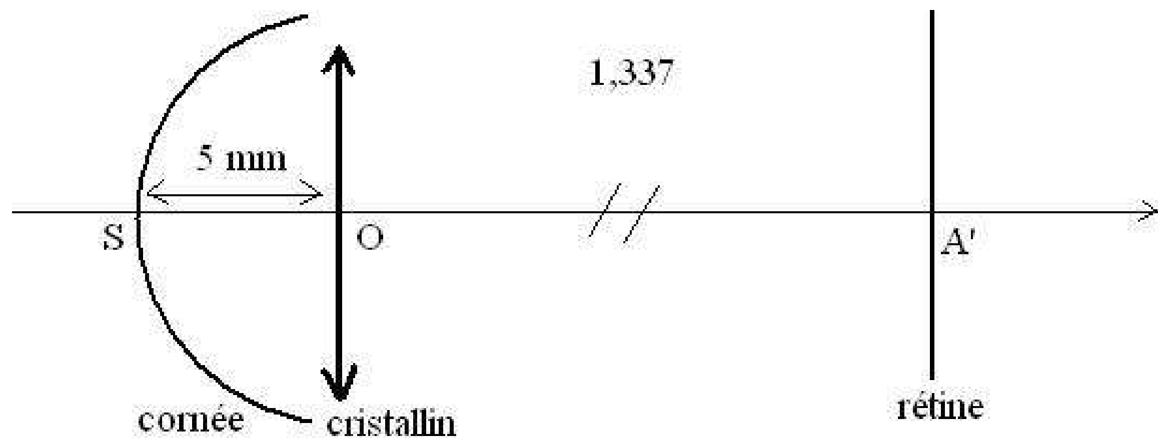
16 mm & n=1,330

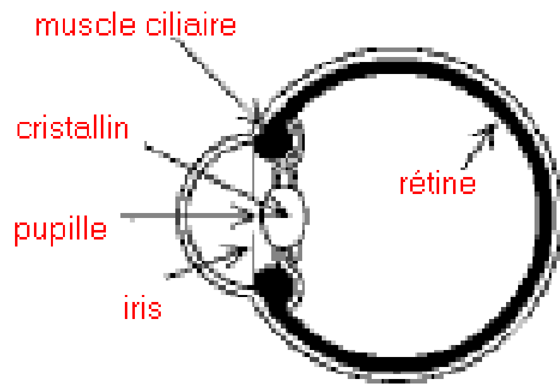
Au point de vue optique, **l'œil** est équivalent à un **dioptre sphérique** de sommet **S**, de centre **C**, de **6 mm de rayon**, séparant **l'air d'indice 1 et le milieu d'indice 1,336** : ce dioptre est appelé **œil réduit**, représenté par le schéma :

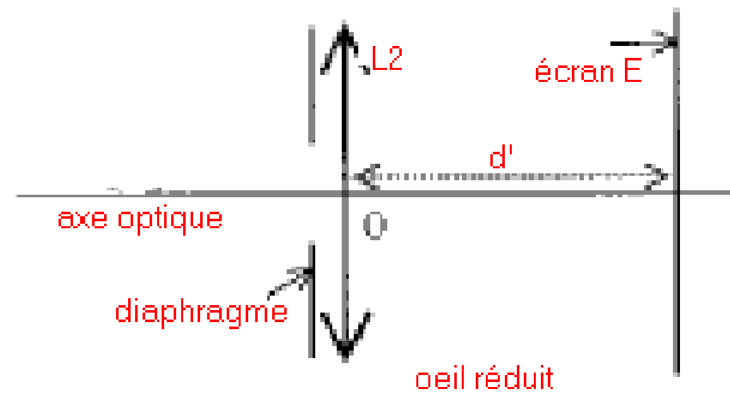


L'œil réduit

L'œil réduit

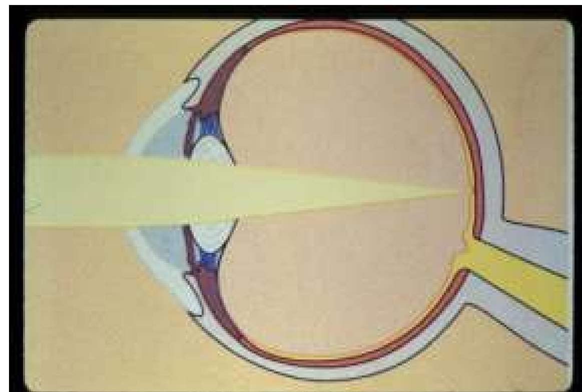


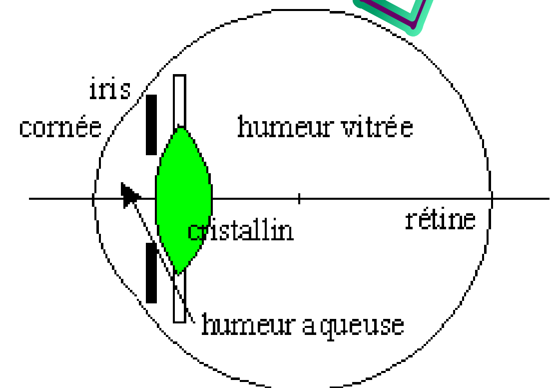




L'œil réel







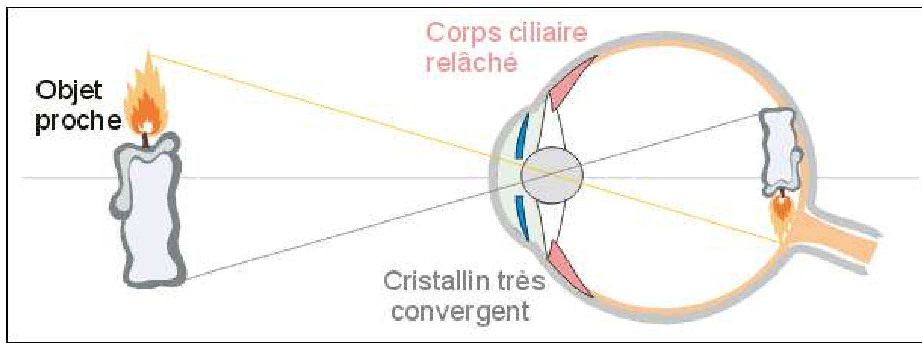
Pour **un œil normal**, l'image d'un objet d'abord très éloigné et puis rapproché de cet œil, se forme premièrement sur **la rétine** puis derrière la rétine et il cesse d'être **vu nettement**.



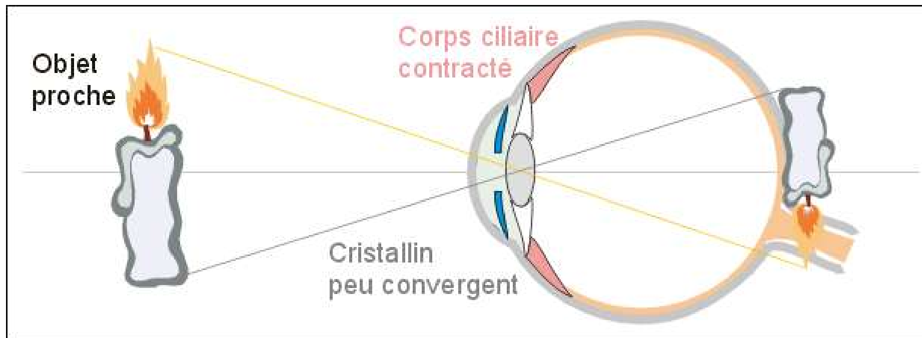
Or, on constate que **la vision reste bonne** : donc **l'œil a subi une modification** qui a pour effet de ramener sur la rétine **l'image d'un objet rapproché** : on dit que l'œil accommode.

L'accommodation se traduit par une augmentation de la **vergence** du **cristallin** grâce à un accroissement de la courbure des faces et peut-être à une variation d'indice.

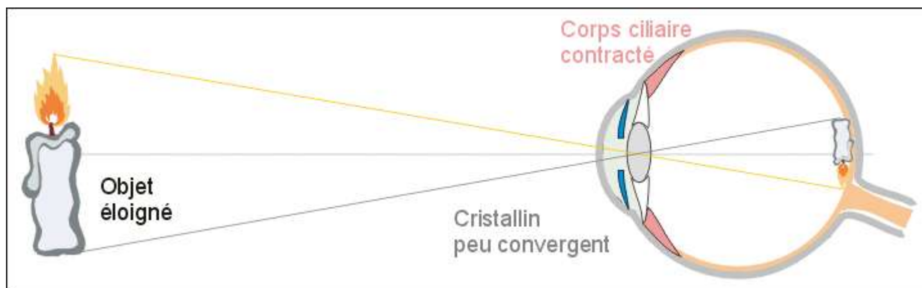
Ces déformations sont obtenues par pression des muscles de la zonule, principalement sur la face antérieure du cristallin ; cette action musculaire, si elle est prolongée, **s'accompagne d'une fatigue**.



repos



Objet Flou **sans Accommodation**



Objet net **avec Accommodation**





La zone de vision distincte est limitée par:

1. Pucntum Proximum PP est le point le plus **proche** de l'œil.
2. Punctum Remotum PR est le point le plus **éloigné** de l'œil.

on peut définir le Punctum Proximum (PP) et le Punctum Remotum (PR) comme étant les points pour lesquels l'œil **a sa puissance (vergence) maximale** et **minimale**. Cette définition permet de fixer avec précision la position de PP et de PR.

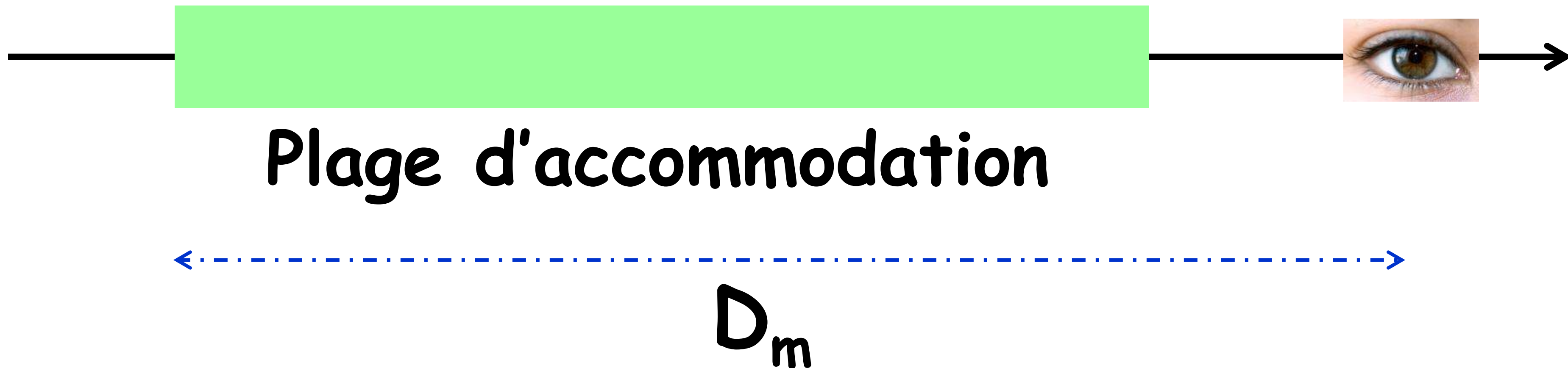
Il est évident que l'accommodation, **limitée** par les possibilités musculaires de l'œil, ne joue plus en deçà du point **PP** **P**unctum **P**roximum situé à la **distance minimale** d_m **de** vision distincte.



Cette **distance** d_m ne peut pas être définie avec précision, elle varie avec l'âge ; pour un œil normal, elle est de l'ordre de 15 cm à 20 ans.

L'œil ne voit l'image nette que si celle-ci se forme sur la rétine.

L'œil au repos, voit nettement à une distance maximale D_m correspondant au Punctum Remotum, noté PR.



En **accommodant**, **l'œil augmente sa <u>vergence</u>**, ce qui rapproche le plan de mise au point ; le **cristallin** est alors bombé. Le <u>**P**unctum **P**roximum</u> **PP** correspond donc à la **vergence V maximale** du cristallin et à la distance minimale d_m de vision distincte. Pour un œil normal d'adulte, le domaine de « vision nette » :

$$D_m = \infty \quad \text{et} \quad d_m = 25\text{cm}$$

PP d_m

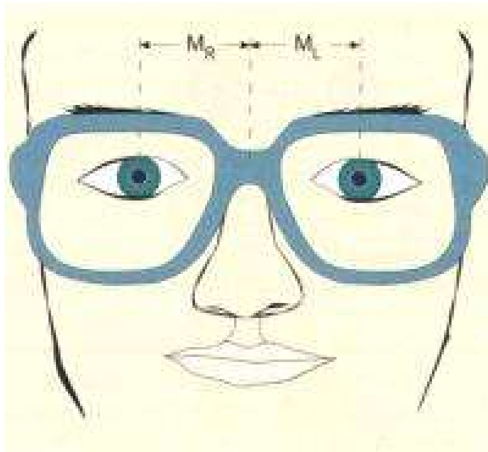
Zone de Vision distincte



PR

D_m

Principaux défauts de l'œil



Principaux défauts de l'œil

L'œil normal

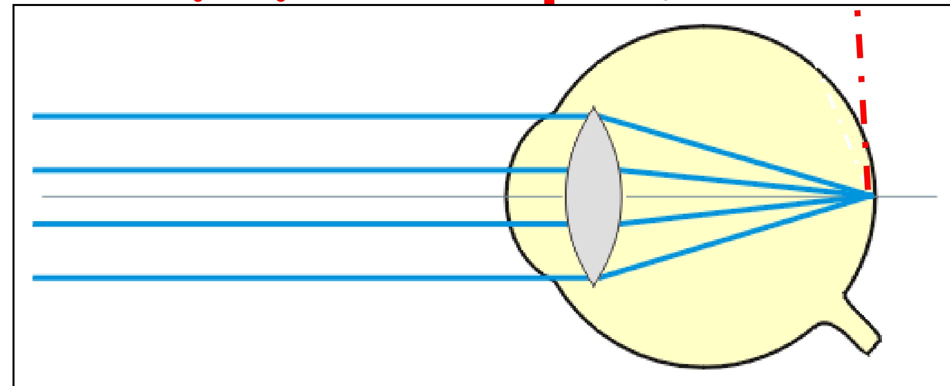


Nous considérons comme normal un œil qui, en l'absence d'accommodation, donne d'un objet à l'infini une image sur la rétine. Le point le plus éloigné qu'il peut voir ou Punctum Remotum PR est à **l'infini**.

L'œil normal est dit emmétrope.

$D_m = \infty$ et $d_m = 25cm$

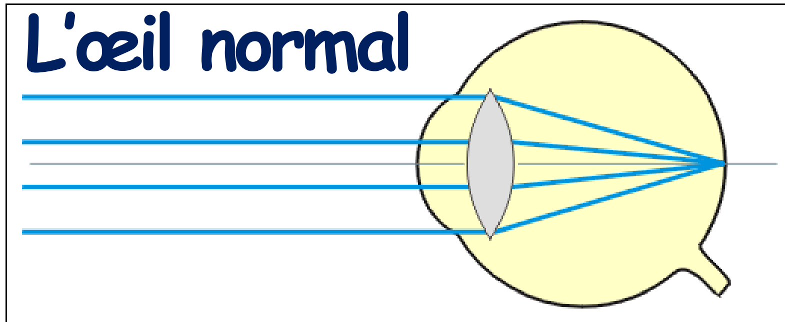
∞



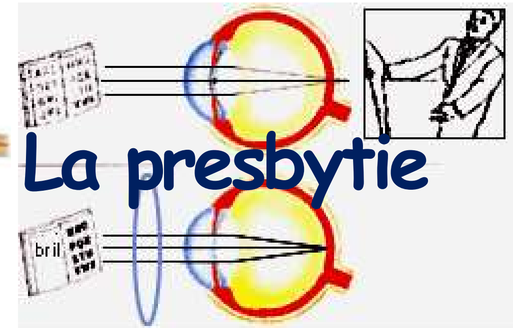
Si, un œil étant au **repos**, l'image d'un point à l'infini se forme en **avant** ou **en arrière** de la rétine, l'œil est dit **anormal** ou **amétrope**.

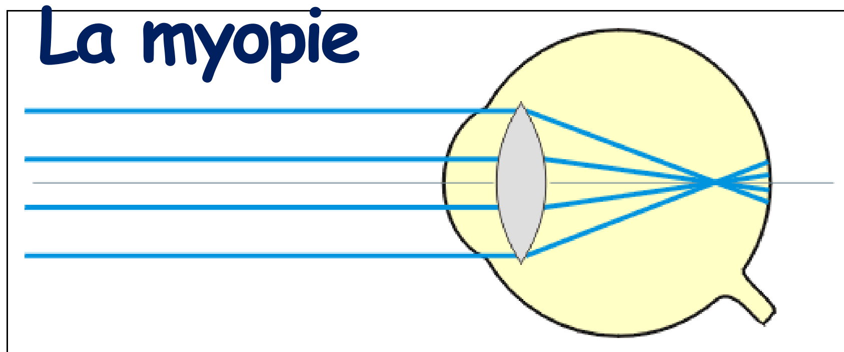
Les défauts d'accommodation les plus répandus sont la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme.

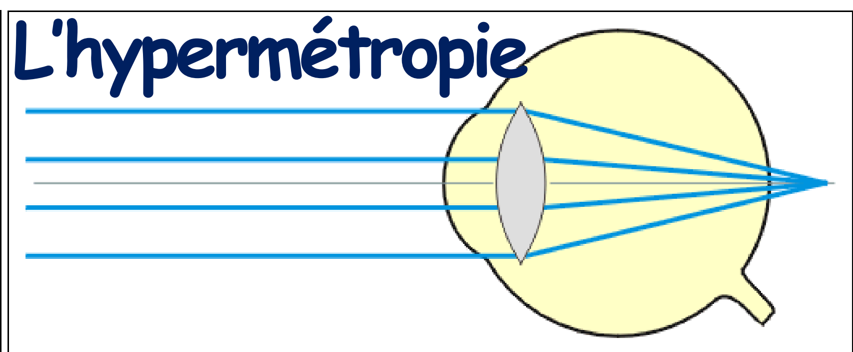
la presbytie est due au vieillissement du cristallin.



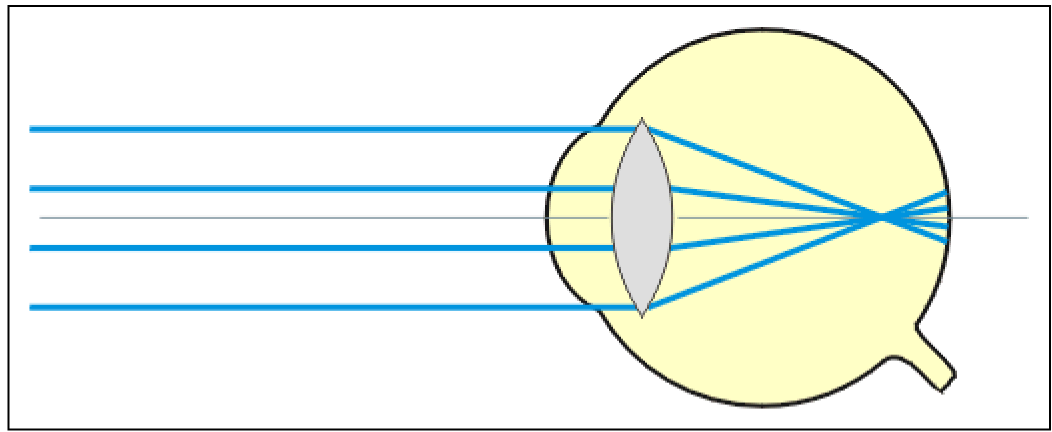








L'œil myope



Un œil myope est trop convergent. Un œil est donc myope quand F', son plan focal image, est en avant de la **rétine**. L'œil myope est donc trop profond pour sa convergence, si l'on admet que tous les yeux ont sensiblement la même puissance.

Au repos il ne peut pas voir un objet à l'infini, l'accommodation ne ferait qu'aggraver le défaut.
Si l'objet se rapproche, l'image se rapproche de la rétine et se forme sur elle, toujours en l'absence d'accommodation, quand l'objet atteint le Punctum Remotum de cet œil myope.

L'œil myope accommode pour voir les objets les plus rapprochés et atteint la limite au Punctum Proximum. Comme son Punctum Reotum n'est pas à l'infini, il est très proche. Sa zone de vision distincte est alors très réduite.



Comment élargir la zone de vision distincte de ce myope ?

Pour augmenter cette zone de vision distincte de ce **myope**, on utilise un verre correcteur dont le foyer principal image F' coïncide avec son **PR**, par conséquent le **verre est divergent**.

Verre correcteur

∞ PR PP

Zone de vision distincte ajoutée par le verre cor

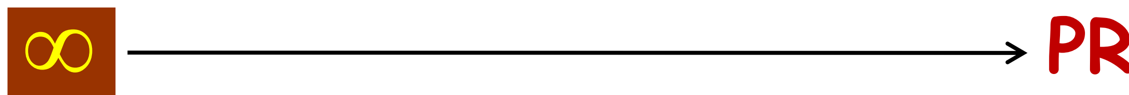
Zone de vision distincte

d_m L'œil myope

Zone invisible pour l'œil nu

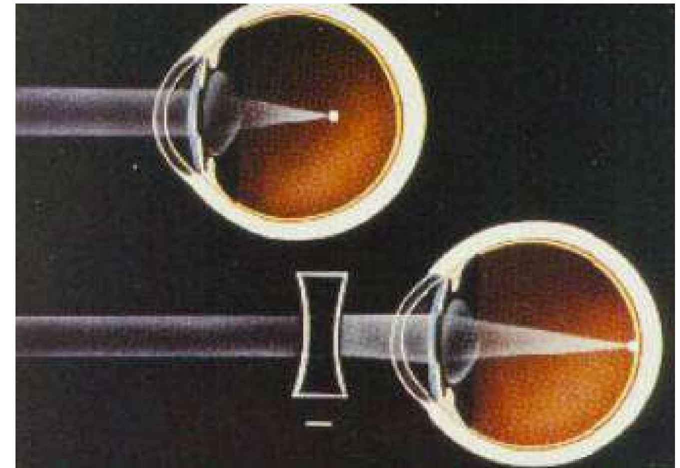
D_m

Verre correcteur



$$\Rightarrow \underbrace{\frac{1}{\overline{OPR}}}_{\text{image}} - \underbrace{\frac{1}{\infty}}_{\text{objet}} = \underbrace{\frac{1}{f'}}_{\text{lentille}}$$

La myopie se corrige en plaçant devant l'œil une **lunette divergente** de distance focale le **PR** de cet œil myope : $f' = PR$



PR

PP < 20 cm

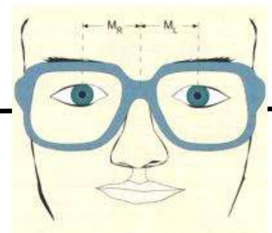
Zone de vision distincte très réduite



$\infty \leftarrow$ PR

Zone de vision distincte agrandie

PP



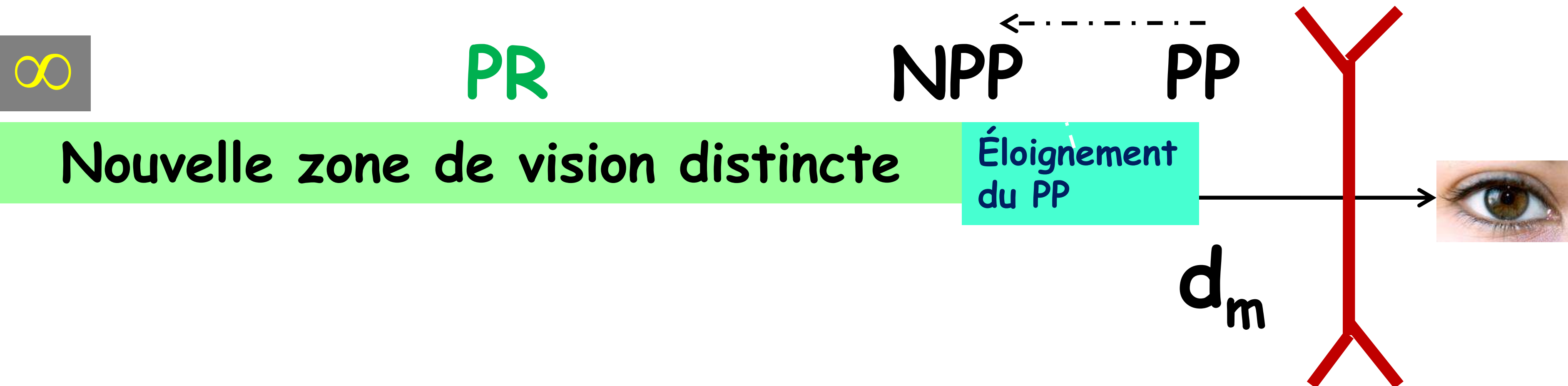
Remarque : Pour observer un objet situé avant le Ponctum Proximum (PP) le myope a intérêt a retiré ses **lunettes** : accommodation moindre sans verres correcteurs.

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow$$

$$PP' = NPP = \frac{PR.PP}{-PP + PR} = \frac{f'.PP}{-PP + f'}$$

Position du nouveau PP





$PP = -25cm \quad PR = -100cm \Rightarrow NPP = -33cm \quad NPR = \infty$

$$PP \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (PP)'$$

$$\frac{1}{d_m'} - \frac{1}{d_m} = V$$

$$PR \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (PR)'$$

$$\frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = V$$

$$\frac{1}{d_m'} - \frac{1}{d_m} = V, \quad \frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = V$$

$$d'ou \quad \frac{1}{D} - \frac{1}{d_m} = \frac{1}{D'} - \frac{1}{d_m'} = A$$

L'amplitude dioptrique A mesure la vergence du verre qui donnerait du PP une image située au PR.

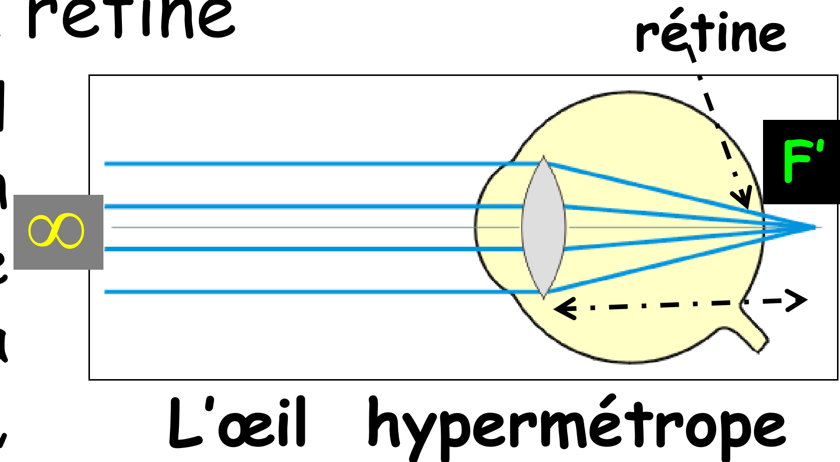
Ce résultat n'est valable qu'en cas où le verre placé contre l'œil.

Il y a conservation de **l'amplitude dioptrique** pour un œil auquel on adjoint un verre de **vergence V**.

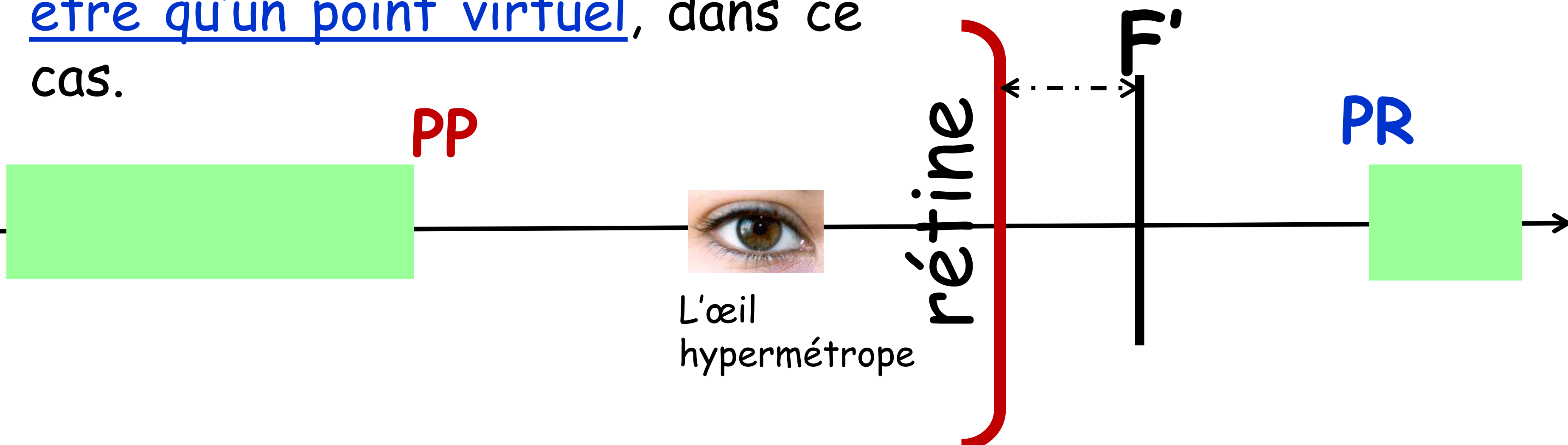
Le (PP)' et le (PR)' de l'œil corrigé sont les points admettant le PP et le PR de l'œil nu, avec un défaut, comme conjugués dans le verre.

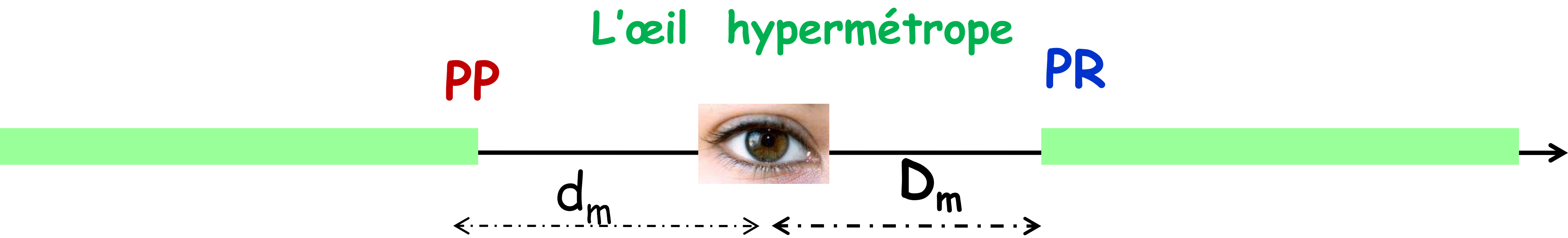
L'œil hypermétrope est trop court pour sa convergence, c'est-à-dire il n'est pas assez convergent. L'image F' d'un point situé à l'infini est alors placée derrière la rétine

Le foyer image F' de cet œil hypermétrope au **repos**, est en arrière de **la rétine** et comme le conjugué du **PR** doit être sur la **rétine** de l'œil non accommodé, donc en avant de **F'**, **PR** ne peut être qu'un point virtuel, dans ce cas.

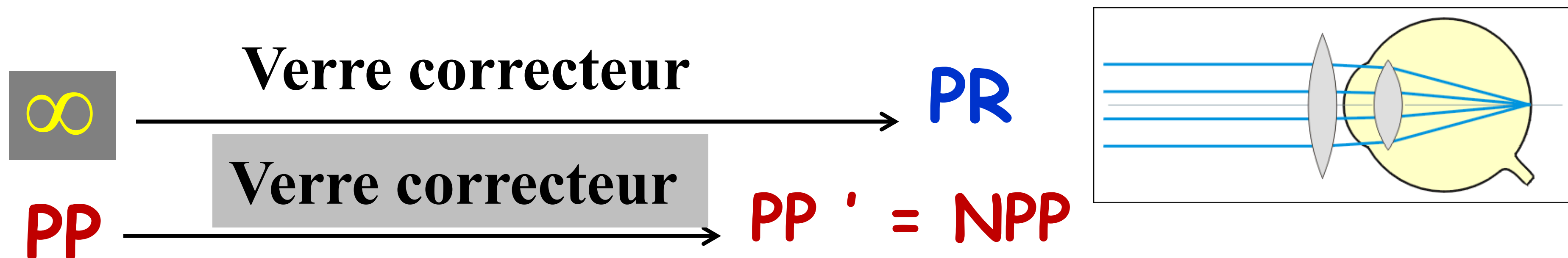


L'œil hypermétrope





Il faut accommoder pour voir les **objets virtuels** **situés en arrière** de PR et **les points réels situés en avant** du PP, lequel est plus loin que dans le cas de l'œil normal. Sa distance minimale d_m peut être égal à 50 cm ou plus. **L'hypermétropie** se corrige en plaçant devant l'œil une **lunette convergente**.

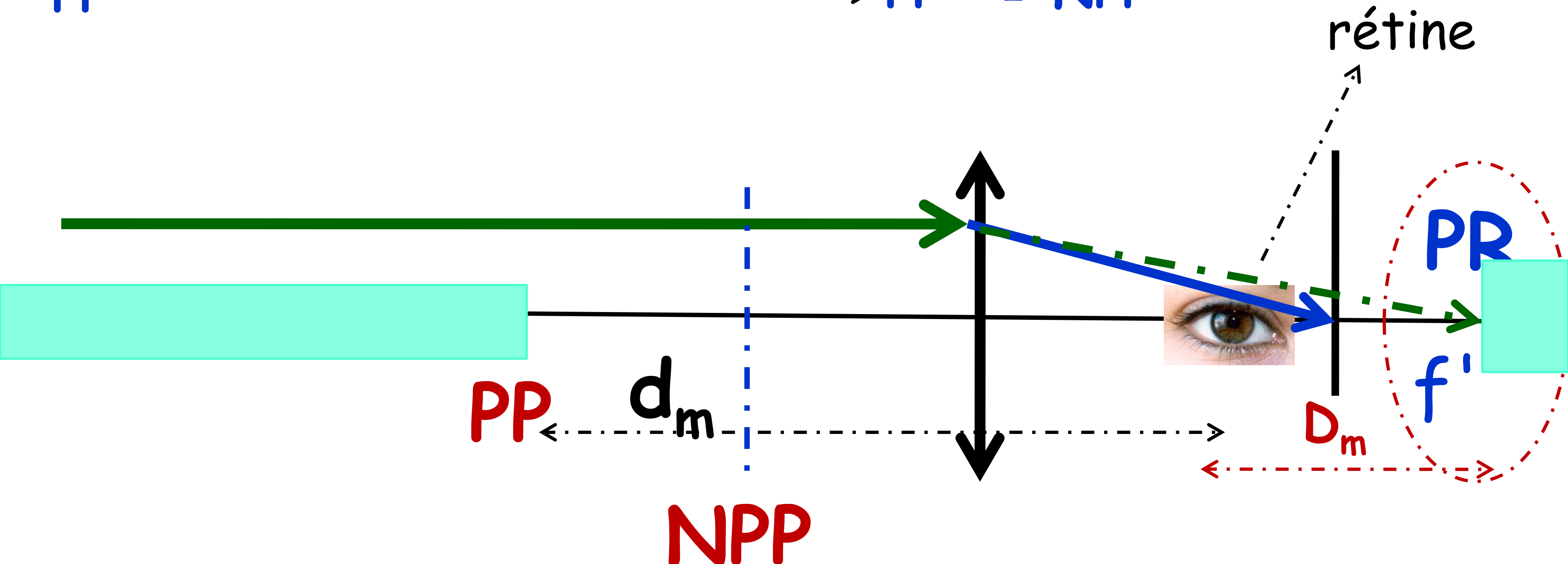


Pour un **œil hypermétrope**, **le verre correcteur** est <u>**convergent**</u>, V > 0, il doit augmenter la faible convergence de cet œil

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR}$$

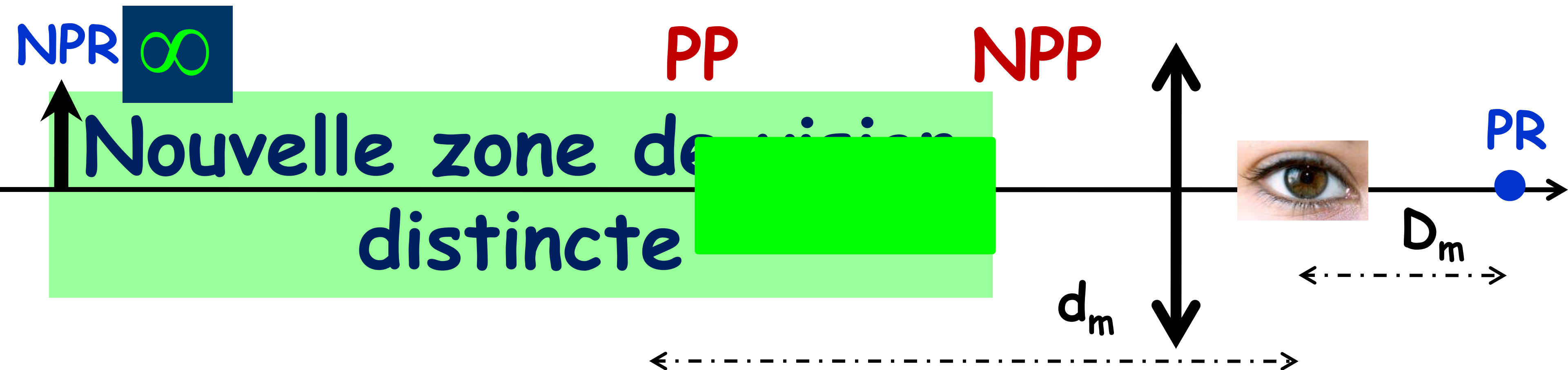
∞ —— **Verre correcteur** ——→ **PR**

PP —— **Verre correcteur** ——→ **PP ' = NPP**



Exemple

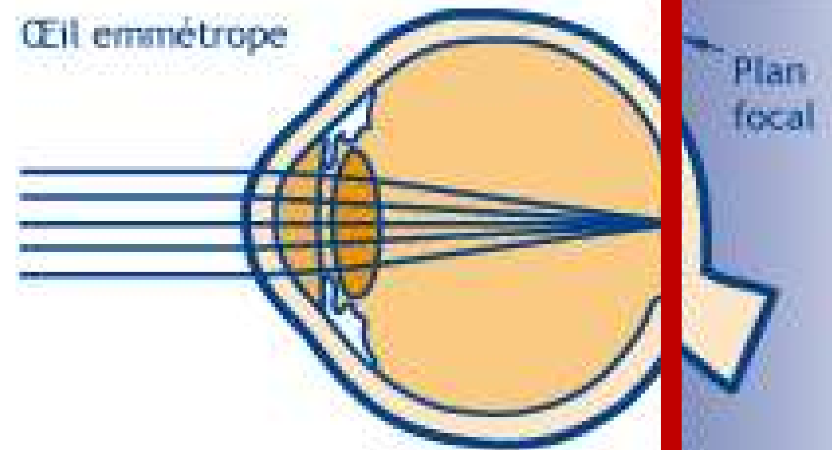
$PP = -70cm \quad PR = 20cm \Rightarrow \quad NPP = -14cm \quad NPR = \infty$



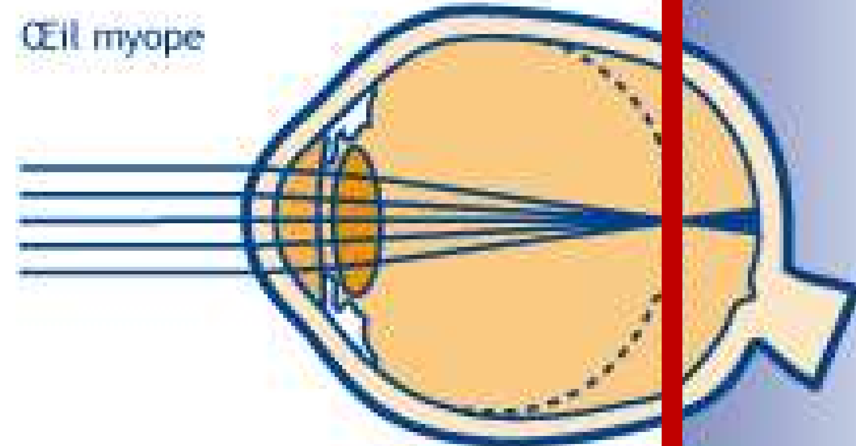
$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow PP' = NPP = \frac{PR.PP}{-PP + PR}$$

$$PP \xrightarrow{\text{Verre correcteur}} PP' = NPP$$

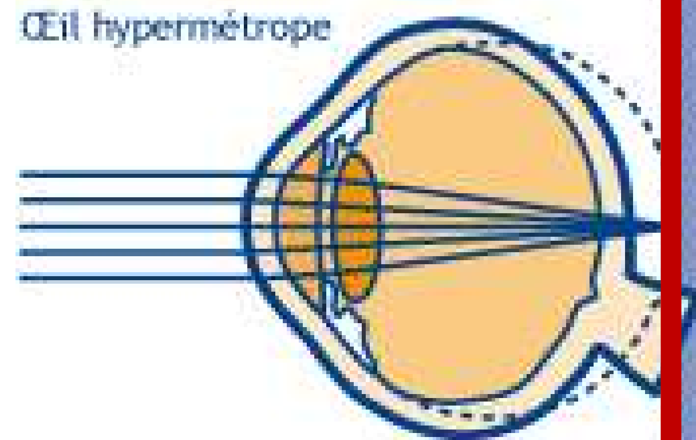
l'œil normal



L'œil myope

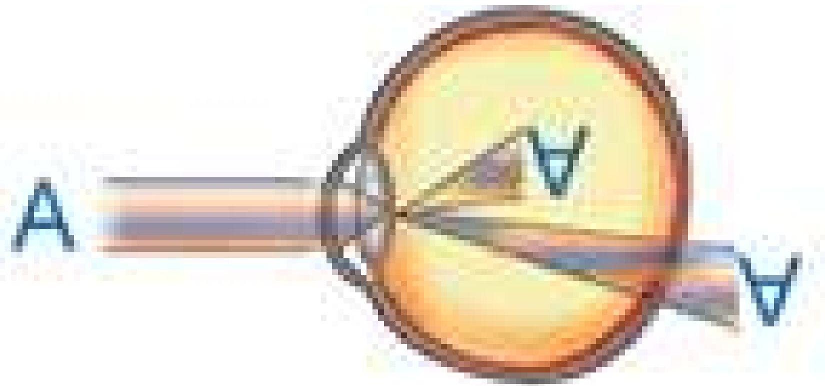


L'œil hypermétrope



Astigmatisme : Il y a astigmatisme de l'œil lorsque celui-ci ne possède pas la symétrie de révolution. On corrige ce défaut à l'aide de verres non sphériques.



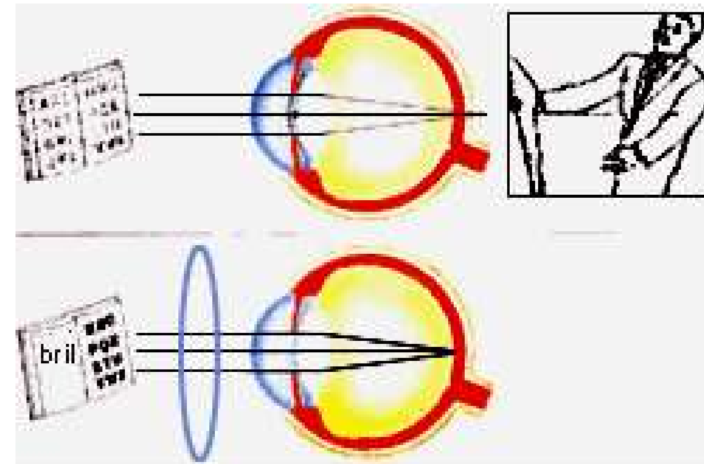




Presbytie : **La faculté d'accommodation**, liée à un effort musculaire, **<u>diminue avec l'âge</u>** : le **PP** s'éloigne progressivement de l'œil, le **PR** restant à peu près fixe.

L'amplitude dioptrique *A* **diminue** et, pour un **œil emmétrope**, passe d'une dizaine de dioptries, à 20 ans, à 1 dioptrie vers 60 ans. On dit que l'œil devient **presbyte**.

La presbytie est alors <u>la diminution</u> de la **<u>faculté d'accommodation</u>** **due au vieillissement de l'œil.**



Un œil normal, devenu **presbyte**, **voit encore nettement les objets éloignés**, mais pour voir de près, **pour lire** par exemple, il doit compenser **l'insuffisance de l'accommodation** par l'emploi de lunettes munies de **lunettes convergentes**.

Puisque le **P**unctum **P**roximum s'éloigne, la **puissance maximale** de l'œil **diminue** et l'on atténue la **presbytie** en adjoignant à l'œil, un verre convergent.

Il s'ensuit un **rapprochement** du **P**unctum **R**emotum et en définitive l'amplitude de l'œil armé reste celle de l'œil nu.

Bien entendu, un observateur à une **vue normale** devenu **presbyte** quitte ses lunettes pour regarder les objets éloignés qu'il continue à voir sans accommodation.

Étant donné son origine, la presbytie peut affecter toutes **les vues**, si bien qu'un **myope presbyte** doit utiliser **deux verres correcteurs** :

- **L'un divergent**, pour la vision des objets éloignés, corrige la **myopie**,
- L'autre, **convergent**, pour la vision d'objets proches, réduit la **presbytie**.

On remplace souvent ces deux verres par un seul « **à double foyer** » :

- La partie supérieure est utilisée pour la vision éloignée,
- Celle du bas, destinée à la lecture, est rendue plus convergente par soudure d'une pastille de verre.






These delegates were a part of
Productivity Enhancement
which is operated by the Center
Citizen Initiatives in Russia. The
used in the United
in the eye care field.
The delegation spent much of
which
diagnose
eye care
the new GDx scanning laser
scope, automated visual field
corneal thickness testing as well



La cataracte est un épaississement des tissus du **cristallin** entraînant d'abord **une vision trouble**, puis peu à peu **la cécité**.

On est alors conduit à enlever le **cristallin**, ce qui diminue la convergence de l'œil d'une douzaine de dioptries.



On atténue ces diminutions physiques par l'emploi des verres fortement convergents ou de verres de contact.

